Environnement Canada Environment Canada

COMPRENDRE LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DES PRODUITS ÉLECTRONIQUES :

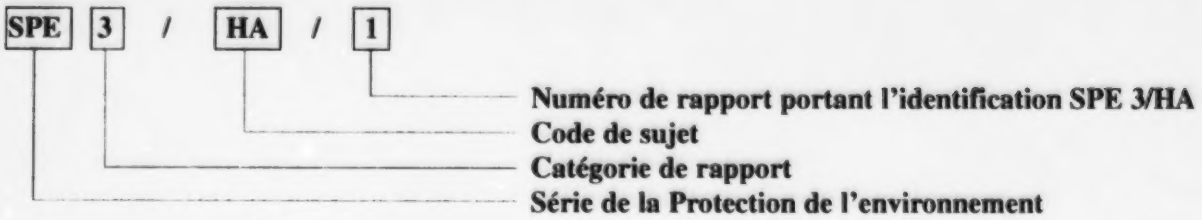
ÉTUDE DE CAS POUR L'ÉVALUATION DU CYCLE DE VIE D'UN TÉLÉPHONE D'AFFAIRES

SPE M-423 - Mars 2000
Bureau national de la prévention de la pollution
Environnement Canada

Canada

SÉRIE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Exemple de numérotation :



Catégories

1	Règlement/Lignes directrices/ Codes de pratiques
2	Évaluation des problèmes et options de contrôle
3	Recherche et développement technologique
4	Revues de la documentation
5	Inventaires, examens et enquêtes
6	Évaluations des impacts sociaux, économiques et environnementaux
7	Surveillance
8	Propositions, analyses et énoncés de principes généraux
9	Guides

Sujets

AG	Agriculture
AN	Technologie anaérobie
AP	Pollution atmosphérique
AT	Toxicité aquatique
CC	Produits chimiques commerciaux
CE	Consommateurs et environnement
CI	Industries chimiques
FA	Activités fédérales
FP	Traitement des aliments
HA	Déchets dangereux
IC	Produits chimiques inorganiques
MA	Pollution marine
MM	Exploitation minière et traitement des minéraux
NR	Régions nordiques et rurales
PF	Papier et fibres
PG	Production d'électricité
PN	Pétrole et gaz naturel
RA	Réfrigération et conditionnement d'air
RM	Méthodes de référence
SF	Traitement des surfaces
SP	Déversements de pétrole et de produits chimiques
SRM	Méthodes de référence normalisées
TS	Transports
TX	Textiles
UP	Pollution urbaine
WP	Protection et préservation du bois

Des sujets et des codes supplémentaires sont ajoutés au besoin. On peut obtenir une liste des publications de la SPE en s'adressant aux Publications de la Protection de l'environnement, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0H3.

© Ministère des Travaux publics et des Services gouvernementaux Canada, 2000

Comprendre les aspects environnementaux des produits électroniques :

Étude de cas pour l'évaluation du cycle de vie d'un téléphone d'affaires

Mars 2000

Données de catalogage avant publication (Canada)

Vedette principale au titre :

Comprendre les aspects environnementaux des produits
électroniques : étude de cas pour l'évaluation du cycle
de vie d'un téléphone d'affaires

Publ. aussi en anglais sous le titre: Understanding the
environmental aspects of electronic products:
A life cycle assessment case study of a business telephone
"Notre étude de cas décrit un projet pilote entrepris
par Environnement Canada et Nortel Networks..." – Résumé
Comprend des références bibliographiques.
Publ. aussi sur l'Internet.
ISBN 0-662-84571-5
No de cat. En40-592/2000F

1. Téléphone – Aspect de l'environnement – Cas, Études de.
2. Téléphone – Canada – Conception et construction.
3. Systèmes électroniques – Aspect de l'environnement – Cas, Études de.
4. Environnement – Gestion – Canada.
I. Nortel Networks.
II. Canada. Environnement Canada.

TK6005.5U56 2000 363.73'7 C00-980170-7

Commentaires des lecteurs

Les personnes qui désirent faire part de leurs commentaires sur la teneur du présent rapport sont priées de s'adresser au :

Bureau national de la prévention de la pollution
Direction générale de la Prévention de la pollution par des toxiques
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

Avis de révision

Le contenu de ce rapport a été revu par des gestionnaires du Bureau national de la prévention de la pollution d'Environnement Canada, qui ont approuvé la publication. Cette approbation ne signifie pas nécessairement que son contenu soit conforme aux vues et aux politiques d'Environnement Canada. Toute mention d'une marque déposée ou d'un produit commercial ne constitue nullement une recommandation de la part d'Environnement Canada.

Avant-propos

Environnement Canada publie cette étude de cas afin d'enrichir les connaissances au Canada et ailleurs dans le domaine des nouveaux concepts et outils de gestion environnementale. Si le téléphone est le système-produit choisi pour le projet, les concepts et les outils décrits dans le rapport peuvent pour l'essentiel s'appliquer à tout système-produit.

L'étude de cas qui suit présente en résumé un projet mené conjointement pendant deux ans par Nortel Networks et Environnement Canada en vue d'analyser les aspects matériels, énergétiques et environnementaux d'un produit de consommation courant – le téléphone. Le téléphone particulier choisi est le Norstar M3710 qui, à l'époque, était produit par Nortel Networks. Le projet visait à mieux comprendre les avantages économiques et environnementaux possibles des nouveaux concepts de gestion environnementale tels que l'évaluation du cycle de vie des produits et la conception écologique. Les entreprises privées et, de plus en plus, les gouvernements nationaux se servent et font la promotion de ces outils en vue d'améliorer les caractéristiques écologiques des produits. Comme ces outils mettent en lumière des occasions d'accroître l'efficacité énergétique et d'optimiser les ressources, ils permettent aussi aux entreprises de réduire les coûts et de stimuler l'innovation.

Environnement Canada est un ministère de l'administration fédérale canadienne. Il lui revient d'appliquer un ensemble de lois et de règlements visant à protéger et à sauvegarder l'environnement. Son but est de faire du développement durable une réalité grâce à l'application des sciences et à la collaboration avec les citoyens, les entreprises, l'industrie, les Autochtones et les organisations non gouvernementales.

La société Nortel Networks est un chef de file mondial en solutions de téléphonie, de données, de commerce électronique et de technologie sans fil pour Internet. Elle est au service des sociétés de télécommunications, des prestataires de services et des entreprises clientes dans plus de 150 pays.

Remerciements

De nombreuses organisations et personnes ont contribué à ce projet, qui a été financé par le Service de la protection de l'environnement d'Environnement Canada et Nortel Networks. Le Groupe Ecobilan, avec Rémi Coulon comme directeur général du projet, a mené l'étude d'évaluation du cycle de vie. Ecobilan a bénéficié de l'aide de Larry Whittle, anciennement de Water Technology International, et de Steven Young, qui travaille actuellement pour Five Winds International. Tim Leah du Bureau national de la prévention de la pollution était le gestionnaire de projet pour Environnement Canada. Kevin Brady de Five Winds International a rédigé l'étude de cas et a participé à la mise en branle du projet à Environnement Canada. Curtis Harnanan de Five Winds International a assuré les services rédactionnels. De nombreux employés de Nortel Networks ont aussi participé au projet.

Table des matières

AVANT-PROPOS iv

REMERCIEMENTS iv

LISTE DES TABLEAUX vii

LISTE DES FIGURES vii

RÉSUMÉ ix

1.0 INTRODUCTION : GESTION ENVIRONNEMENTALE AXÉE SUR LES PRODUITS 1

2.0 OUTILS DE LA GESTION ENVIRONNEMENTALE AXÉE SUR LES PRODUITS – ÉVALUATION DU CYCLE DE VIE ET CONCEPTION ÉCOLOGIQUE 3

2.1 Évaluation du cycle de vie 3

2.2 Conception écologique 5

3.0 VUE D'ENSEMBLE DU PROJET 7

3.1 Objectifs et avantages du projet 7

3.2 Organisation du projet 7

4.0 PORTÉE ET MÉTHODE DE L'ÉTUDE 9

4.1 Limites du système étudié 9

4.2 Collecte des données 10

4.2.1 Fabrication 10

4.2.2 Étape de distribution 10

4.2.3 Étape d'utilisation 10

4.2.4 Étape de fin de vie 10

4.3 Flux de matière et d'énergie et évaluation des impacts 10

4.4 Modélisation 10

4.4.1 Limites du système en amont – Pièces et composants 11

4.4.2 Montage – Nortel Networks, Calgary 11

4.4.3 Distribution et utilisation 11

4.4.4 Options de fin de vie 12

4.4.5 Analyses de la BSC et scénarios de conception écologique 13

5.0 RÉSULTATS 15

5.1 Résultats donnés par l'indicateur de référence pour les émissions de gaz à effet de serre 15

5.2 Analyse des scénarios 18

5.2.1 Impact de la BSC par rapport au téléphone M7310 18

5.2.2 Nouvelle technologie de clavier 18

5.2.3 Corps à parois minces 20

5.2.4 Options de fin de vie 20

6.0 RÉVISION PAR DES PAIRS 23

7.0 CONCLUSIONS 25
7.1 Implications des résultats de l'analyse du cycle de vie 25
7.2 Scénarios d'améliorations potentielles 25
7.3 Utilisation de l'ECV comme outil de conception écologique 26
7.4 Conclusions générales 26

GLOSSAIRE 27

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE ET PRINCIPAUX RENSEIGNEMENTS 29

ANNEXE : AUTRES RÉSULTATS MIS EN ÉVIDENCE PAR LES INDICATEURS D'IMPACT DU CYCLE DE VIE DE L'ÉTUDE DE RÉFÉRENCE 31
I. Épuisement des matières premières 31
II. Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone 35
III. Acidification atmosphérique 36
IV. Eutrophisation 39

Liste des tableaux

Tableau 1 Innovation, compétitivité et conception écologique 6
Tableau 2 Consommation d'énergie du M7310 de Nortel Networks 12
Tableau 3 Teneur en matières types et sort du téléphone broyé 12

Liste des figures

Figure 1 Étapes du cycle de vie d'un produit générique 3
Figure 2 Cycle de vie d'un système-produit générique et son interaction avec l'environnement 4
Figure 3 Limites générales du système aux fins de l'ECV pour le téléphone d'affaires M7310 9
Figure 4 Procédés de montage et d'assemblage en surface à Nortel Networks, Calgary 11
Figure 5 Incidence des gaz à effet de serre – Étape du cycle de vie de référence 16
Figure 6 Incidence des gaz à effet de serre – Étape de fabrication de référence 16
Figure 7 Émissions de gaz à effet de serre – Set Comm de référence 17
Figure 8 Émissions de gaz à effet de serre – Puce C84 de référence. 17
Figure 9 Émissions de gaz à effet de serre – Carte imprimée Set Comm de référence 18
Figure 10 Comparaison des impacts du téléphone M7310 de référence avec ceux de la BSC 19
Figure 11 Scénario de nouveau clavier – Cycle de vie total 19
Figure 12 Scénario de réduction de l'enveloppe – Cycle de vie total 20
Figure 13 Émissions de gaz à effet de serre – Étape de fin de vie 21
Figure 14 Épuisement des matières premières – Étape de fin de vie 21
Figure 15 Acidification atmosphérique – Étape de fin de vie 22
Figure 16 Eutrophisation – Étape de fin de vie 22
Figure I.1 Épuisement des matières premières aux diverses étapes du cycle de vie d'un téléphone M7310 31
Figure I.2 Épuisement des matières premières selon les diverses opérations de fabrication d'un téléphone M7310 32
Figure I.3 Épuisement des matières premières imputable aux cordons d'un téléphone M7310 32
Figure I.4 Épuisement des matières premières imputable aux opérations de montage de Nortel Networks à Calgary pour un téléphone M7310 33
Figure I.5 Épuisement des matières premières imputable au Set Comm d'un téléphone M7310 33
Figure I.6 Épuisement des matières premières attribuable au MCI (à l'exclusion des puces C84 et A83 ainsi que de la carte imprimée) d'un téléphone M7310 34
Figure I.7 Épuisement des matières premières imputable aux divers condensateurs 34
Figure I.8 Épuisement des matières premières imputable à la carte imprimée du Set Comm d'un téléphone M7310 35
Figure II.1 Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone lié aux étapes du cycle de vie d'un téléphone M7310 35
Figure III.1 Acidification atmosphérique liée aux étapes du cycle de vie d'un téléphone M7310 36
Figure III.2 Acidification atmosphérique liée à l'étape de fabrication d'un téléphone M7310 37
Figure III.3 Acidification atmosphérique liée à la production du Set Comm d'un téléphone M7310 37
Figure III.4 Acidification atmosphérique liée à la production de la carte imprimée du Set Comm d'un téléphone M7310 38
Figure III.5 Acidification atmosphérique liée à la production de la puce C84 du téléphone M7310 38
Figure IV.1 Effets d'eutrophisation liés aux étapes du cycle de vie d'un téléphone M7310 39
Figure IV.2 Effets d'eutrophisation liés à l'étape de fabrication d'un téléphone M7310 40
Figure IV.3 Effets d'eutrophisation liés au Set Comm d'un téléphone M7310 40
Figure IV.4 Effets d'eutrophisation liés à la carte imprimée du Set Comm d'un téléphone M7310 41

100-04918/

Résumé

On a assisté ces dernières années à une rapide croissance, à l'échelle mondiale, d'un domaine que l'on pourrait baptiser de façon générale « gestion environnementale axée sur les produits ». Les gouvernements nationaux et les organisations internationales, de même que les grandes sociétés industrielles, ont élaboré des politiques, des règlements et des outils orientés vers les produits en vue d'appuyer les méthodes traditionnelles de protection de l'environnement axées sur les installations et sur les substances toxiques.

Pour le gouvernement, ces nouvelles méthodes englobent les initiatives de bonne gestion des produits, les programmes de responsabilité élargie du producteur, la normalisation des produits et l'élargissement des critères environnementaux pour les approvisionnements et les programmes d'éco-étiquetage. Dans le secteur privé, les principaux outils et concepts qu'utilisent les sociétés comprennent les systèmes de gestion de l'environnement, l'éco-efficacité, les programmes d'éducation écologique, l'établissement des coûts du cycle de vie, la conception écologique, la conception axée sur le démontage et la gestion du cycle de vie des produits. Les gouvernements et les sociétés avant-gardistes reconnaissent désormais qu'en mettant l'accent sur la réduction des intrants (matières et énergie) et des extrants (rejets dans l'environnement) liés au cycle de vie d'un produit, on peut améliorer les caractéristiques écologiques du produit tout en renforçant le rendement économique et commercial.

Notre étude de cas décrit un projet pilote entrepris par Environnement Canada et Nortel Networks en vue de démontrer l'utilité de deux de ces outils, soit l'évaluation du cycle de vie (ECV) et la conception écologique (CE), pour la création de produits moins préjudiciables à l'environnement. L'ECV est actuellement l'outil privilégié pour évaluer scientifiquement les caractéristiques écologiques des produits. Le but d'une étude d'ECV est de mesurer, d'évaluer et de déclarer les besoins en ressources (matières premières et énergie) et les rejets dans l'environnement (air, eau et sol) liés au système-produit faisant l'objet de l'évaluation. Ce qui distingue l'ECV, c'est que les données sont recueillies à toutes les étapes du cycle de vie du produit (matières premières, fabrication, utilisation et élimination) et en fonction des divers milieux de l'environnement (air, eau et sol). Des milliers d'études d'ECV ont été réalisées par l'industrie et le gouvernement au cours des dix dernières années pour des produits comme les emballages de produit de consommation, les récipients à boisson, les appareils électroménagers, les automobiles et les produits en papier, tels que les journaux et les revues.

La conception écologique est l'intégration des facteurs environnementaux aux opérations de création des produits et de mise au point des procédés. Même si elle n'est pas pratiquée sur la même échelle que l'ECV, la CE est potentiellement un des outils les plus puissants actuellement disponibles pour réduire les répercussions des produits sur l'environnement. La raison en est qu'une fois qu'un produit ou un procédé passe de l'étape des études à celle de la production, ses attributs environnementaux sont pour l'essentiel déjà fixés, les seules variables étant alors les modes d'utilisation et d'élimination. S'ils comprennent clairement les implications des matériaux, des procédés de production, des modes d'utilisation et des options d'élimination, les concepteurs peuvent considérablement améliorer le rendement environnemental et économique des produits qu'ils aident à créer. À la base de la conception écologique, on trouve des outils comme l'ECV, qui fournit une information exacte sur les aspects environnementaux des systèmes de production.

Le but du projet était d'évaluer le cycle de vie d'un produit manufacturé, le téléphone d'affaires M7310, afin de permettre l'élaboration de stratégies susceptibles d'améliorer la conception des produits électroniques. Objectifs du projet :

- démontrer la valeur commerciale du recours à l'ECV et à la CE pour améliorer le rendement environnemental et économique des produits;
- élaborer des lignes directrices afin d'améliorer la conception écologique de la prochaine génération de produits électroniques;
- permettre à Environnement Canada d'expérimenter et de comprendre les stratégies axées sur le produit (plutôt que sur les installations) pour réaliser des objectifs environnementaux.

On a choisi d'étudier le téléphone parce qu'il s'agit d'un produit bien connu et très perfectionné, qui fait appel à bon nombre des technologies et des procédés de fabrication utilisés pour des produits électroniques de plus grande envergure et plus complexes. Le projet a été lancé en janvier 1997 et a pris fin à l'automne de 1998. La partie ECV du projet a été soumise à un examen indépendant afin d'en vérifier la conformité avec les normes internationales en matière d'évaluation du cycle de vie et de déterminer si l'étude réalisait les objectifs énoncés.

L'étude d'ECV a examiné les flux de matières et d'énergie de même que les rejets dans l'environnement liés au téléphone d'affaires M7310. L'unité fonctionnelle pour l'étude (soit la valeur de référence en fonction de laquelle les données sur l'énergie, les matières et les rejets dans l'environnement ont été normalisées) a été définie comme étant le service fourni par le produit, pendant toute sa durée utile, y compris sa remise à neuf. Le M7310 comprend des options courantes telles que des fonctions d'affichage (heure, date, information sur les appels), des boutons de mémoire programmable, un bouton de mise en attente, un système d'interphone et un dispositif mains-libres. Il convient de prendre note que l'appareil lui-même n'est pas autonome, mais qu'il fait partie d'un système central à clés auquel se rattachent douze postes. La base du système à clés (BSC) n'a pas été incluse dans l'unité fonctionnelle pour l'ECV. On a toutefois évalué ses effets afin de donner une idée des écarts entre les impacts du téléphone lui-même et de l'ensemble formé par le téléphone et la BSC.

En plus de l'étude de référence sur l'appareil téléphonique, le projet comprenait l'examen d'un certain nombre de scénarios d'amélioration de la conception (CE). Ces scénarios comportaient une évaluation des points suivants :

- nouvelle technologie de clavier;
- corps de plastique à parois minces;
- diverses options de fin de vie.

Les résultats de l'étude d'ECV et leurs implications pour les stratégies d'amélioration de la conception sont résumés dans les paragraphes qui suivent.

La réduction de la consommation d'électricité à l'étape d'utilisation et à l'étape de fabrication des composants électroniques (en particulier les circuits intégrés) permettrait de réduire les émissions de gaz à effet de serre et l'acidification de l'air. Cette réduction de la consommation d'électricité pourrait être réalisée à l'aide de diverses stratégies de conception comme l'ajout d'un dispositif de mise en veilleuse et le recours à la technologie des circuits intégrés à faible consommation d'énergie. L'analyse de rentabilisation est généralement favorable à ce genre d'amélioration, qui permet de réduire les frais de propriété du produit pour les clients, en particulier ceux qui utilisent des produits électroniques plus élaborés et plus complexes comme un central de commutation téléphonique.

Il s'est avéré que la fabrication des circuits intégrés était le principal paramètre pollueur à l'étape de production. On pouvait certes s'y attendre, compte tenu de la complexité du traitement des circuits intégrés, qui est une opération à forte intensité d'énergie. Ce qui est étonnant, c'est l'ampleur de son impact, qui a pour effet de rapetisser celui des autres indices auxquels les analyses d'ECV/CE accordent traditionnellement une place de choix (corps de plastique ou de métal, emballage, traitements de surface). Cette constatation pourrait bien inciter l'industrie électronique à repenser sa façon de définir et de concevoir ses produits.

Une fois normalisés par appareil téléphonique, les effets de la BSC se sont avérés de trois à cinq fois plus importants que ceux du téléphone lui-même, ce qui donne à penser qu'il serait possible de réaliser des économies grâce à une reformulation, fondée sur la CE, de cette partie du système téléphonique dans son ensemble. Ce résultat n'est guère étonnant étant donné que la plus grande partie de l'intelligence et de la fonctionnalité du système se trouve dans la BSC. Bien qu'il soit difficile d'en tirer des conclusions générales pour les autres produits et systèmes, ce résultat pourrait aussi aider à orienter les décisions futures concernant les aspects à privilégier dans l'ECV et la CE pour les systèmes électroniques complexes.

L'analyse des scénarios montre que la nouvelle technologie proposée pour le clavier et le corps à parois minces ne changeait pas de façon appréciable l'incidence de l'ensemble du cycle de vie du téléphone. Toutefois, ces scénarios mettent quand même en évidence des avantages indéniables, comme des coûts de montage et de fabrication réduits et une plus grande facilité de démontage.

L'analyse du scénario de fin de vie examinait les effets de la variation du pourcentage de téléphones envoyés pour broyage dans une usine de West Chicago, en Illinois, plutôt qu'à une fonderie de cuivre, de Rouyn-Noranda, au Québec. Cette analyse met en évidence les pour et les contre

souvent inhérents à l'évaluation des options de gestion de fin de vie. Les résultats montrent que le broyage est préférable pour minimiser l'épuisement des matières premières et l'eutrophisation. Par contre, la fonte du cuivre est à privilégier si l'on veut réduire les émissions de gaz à effet de serre et l'acidification de l'air.

Leçons générales dégagées du projet

1. L'étude confirme que l'analyse du cycle de vie est un outil systématique et utile pour déterminer les répercussions environnementales les plus importantes d'un produit pendant la durée de son cycle de vie. L'ECV est particulièrement utile pour mettre les nombreuses différentes répercussions environnementales d'un produit en comparaison de manière à préciser celles qui prédominent. Les résultats de l'ECV peuvent alors être utilisés pour orienter les efforts subséquents de la conception écologique de manière à concentrer les ressources limitées sur les plus importantes pressions du produit qui s'exercent sur l'environnement.

2. En raison de contraintes de temps et de ressources, un certain nombre de scénarios de CE ont été explorés avant l'achèvement de l'étude d'ECV. Ces scénarios de CE ne changeaient pas grand-chose à l'incidence de l'ensemble du cycle de vie dans les diverses catégories d'impact et le flux de matière et d'énergie, ce qui a confirmé le besoin de données d'ECV de qualité pour guider le processus de conception écologique.

3. Pour assurer sa pertinence et susciter l'intérêt des cadres, l'ECV doit, dans la mesure du possible, être liée à l'analyse économique. Il faudrait pousser plus loin les travaux pour mieux comprendre les perspectives de réduction des coûts qu'offre l'ECV.

4. Les ressources humaines et financières investies pour la réalisation de l'ECV, ainsi que le temps qui y a été consacré, à l'aide des méthodes traditionnelles décrites, ont été considérables. Il fallait s'y attendre pour une ECV initiale, mais les coûts devraient diminuer avec l'expérience. Toutefois, étant donné que les cycles de développement des produits dans de nombreuses industries deviennent plus courts, il pourrait n'être pas réaliste d'intégrer l'ECV traditionnelle au processus de développement d'un produit « en temps réel ». Il conviendrait plutôt de voir dans l'ECV un outil de conception écologique « en différé » permettant de déterminer les principales stratégies et directives pour la conception de la génération suivante du produit.

5. La principale pierre d'achoppement de l'ECV a trait à la difficulté d'accéder à des données de qualité. Même si souvent des données sont recueillies, celles-ci ne sont pas centralisées et ne sont pas forcément adaptées aux besoins de l'ECV (p. ex., les émissions environnementales d'un lieu donné ne sont pas normalement ventilées en fonction de produits particuliers). En outre, la collecte de données à partir de sources primaires peut être extrêmement coûteuse en temps.

6. Il importerait donc de mettre au point des outils simples et très poussés de conception écologique pouvant être facilement intégrés aux processus de conception existants.

De façon générale, le projet a permis de mieux comprendre la complexité des systèmes-produits tels que le téléphone et l'utilité d'outils comme l'ACV et la conception écologique pour améliorer le rendement environnemental des systèmes-produits.

1.0 Introduction : Gestion environnementale axée sur les produits

Traditionnellement, les organismes de réglementation et l'industrie ont axé leurs activités environnementales sur les installations et les substances toxiques. Au cours des dernières années, toutefois, on a assisté à une croissance rapide, à l'échelle internationale, en particulier en Europe et en Asie, d'un domaine que l'on pourrait globalement appeler « gestion environnementale axée sur les produits ». Les gouvernements nationaux et les organisations internationales ont élaboré des politiques et des règlements orientés vers les produits, ont lancé des initiatives volontaires de bonne gestion des produits, ont obligé les producteurs à assumer une plus grande responsabilité et de mettre en place des programmes de reprise des produits et ont élargi les critères environnementaux pour les approvisionnements et les programmes d'éco-étiquetage.

Dans le secteur privé, les activités se sont multipliées dans ce domaine à mesure que les sociétés ont commencé à faire de l'environnement non plus un poste budgétaire fondé sur des obligations de conformité à respecter, mais un instrument commercial de base directement lié à l'efficacité et à la compétitivité. Cette tendance a été catalysée par un changement d'orientation en vertu duquel la gestion environnementale axée sur les opérations et les installations a cédé le pas à une gestion axée sur les produits et sur la chaîne d'approvisionnement. Il en est résulté pour de nombreux chefs de file d'entreprises une plus grande intégration des facteurs environnementaux aux activités commerciales, telle que l'approvisionnement et les fournitures, la conception des produits et la stratégie générale. Les sociétés d'avant-garde reconnaissent désormais qu'en privilégiant la réduction des intrants (matières et énergie) et des extrants (rejets dans l'environnement) liés au cycle de vie d'un produit, elles peuvent améliorer les caractéristiques écologiques de leurs produits tout en augmentant leur rendement économique et commercial.

Tout comme les systèmes de gestion de l'environnement ont été un outil important pour écologiser la gestion des organisations, un certain nombre d'outils ont été créés pour permettre l'examen des enjeux environnementaux liés aux systèmes de production. Les principaux outils et concepts utilisés par les sociétés sont notamment l'établissement des coûts du cycle de vie, la conception écologique, la conception axée sur le démontage et l'évaluation du cycle de vie (ECV) du produit.

Notre étude de cas décrit un projet pilote entrepris conjointement par Environnement Canada et Nortel Networks pour faire la preuve de l'utilité de ces deux produits, l'ECV et la conception écologique (CE), dans la conception de produits ayant des meilleures caractéristiques écologiques. Le projet est unique en ce sens qu'il s'agit du premier partenariat entre le gouvernement du Canada et l'industrie à avoir examiné l'ensemble du cycle de vie d'un produit manufacturé.

La suite de l'étude de cas présente les concepts de l'ECV et de la CE (section 2), décrit la genèse du projet et les objectifs des organismes participants (section 3), expose en détail la portée de l'étude et ses méthodes (section 4), présente les résultats (section 5), décrit le processus de révision par des pairs (section 6) et analyse les conclusions globales de l'étude (section 7).

2.0 Outils de la gestion environnementale axée sur les produits – Évaluation du cycle de vie et conception écologique

2.1 Évaluation du cycle de vie

L'outil que l'on privilégie de nos jours pour évaluer scientifiquement les caractéristiques écologiques des produits est l'évaluation du cycle de vie (ECV). Le but d'une étude d'ECV est de mesurer, d'évaluer et de déclarer les besoins en ressources (matières premières et énergie) et les émissions dans l'environnement (air, eau et sol), aux limites du système. Dans le cas de l'ECV d'un produit, le système-produit englobe tous les processus qui interviennent depuis l'extraction des matières premières jusqu'à l'utilisation du produit et les activités de fin de vie, en passant par la fabrication (voir la figure 1). Les interactions entre un système-produit générique et l'environnement sont illustrées à la figure 2.

Appliquée dans un contexte industriel, l'ECV est une méthode d'analyse systémique qui favorise la prise de décisions éclairées. L'outil comprend trois dimensions générales :

1. **Ordinogramme et inventaire des étapes du cycle de vie.** La séquence des activités liées à un système-produit est explicitée et des données sur les intrants et les extrants sont recueillies.

2. **Analyse des multiples enjeux touchant l'environnement et les ressources.** L'étude d'ECV mesure les intrants du système examiné, soit les ressources puisées dans l'environnement (énergie et matières) et les extrants, sous forme de rejets dans l'environnement (air, eau et sol). Cet écobilan est le plus grand apport de l'ECV. Étant donné qu'il examine les nombreux sous-systèmes touchés, cet outil met en évidence les choix qui s'offrent à tous les stades du cycle de vie du produit.

Figure 1 Étapes du cycle de vie d'un produit générique

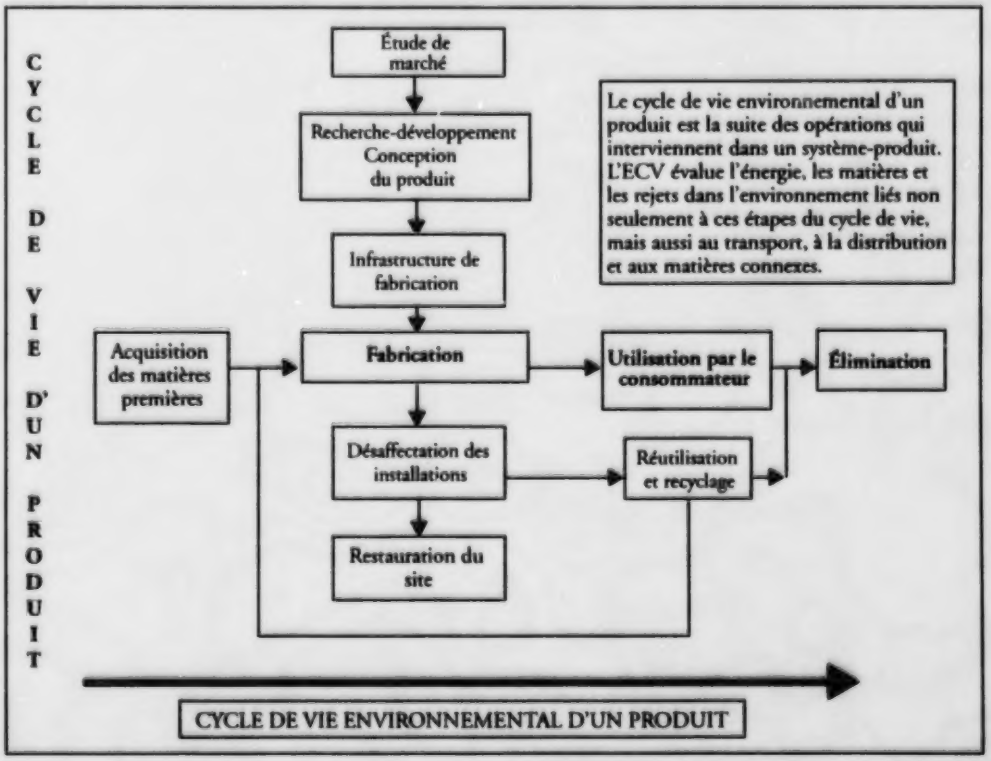
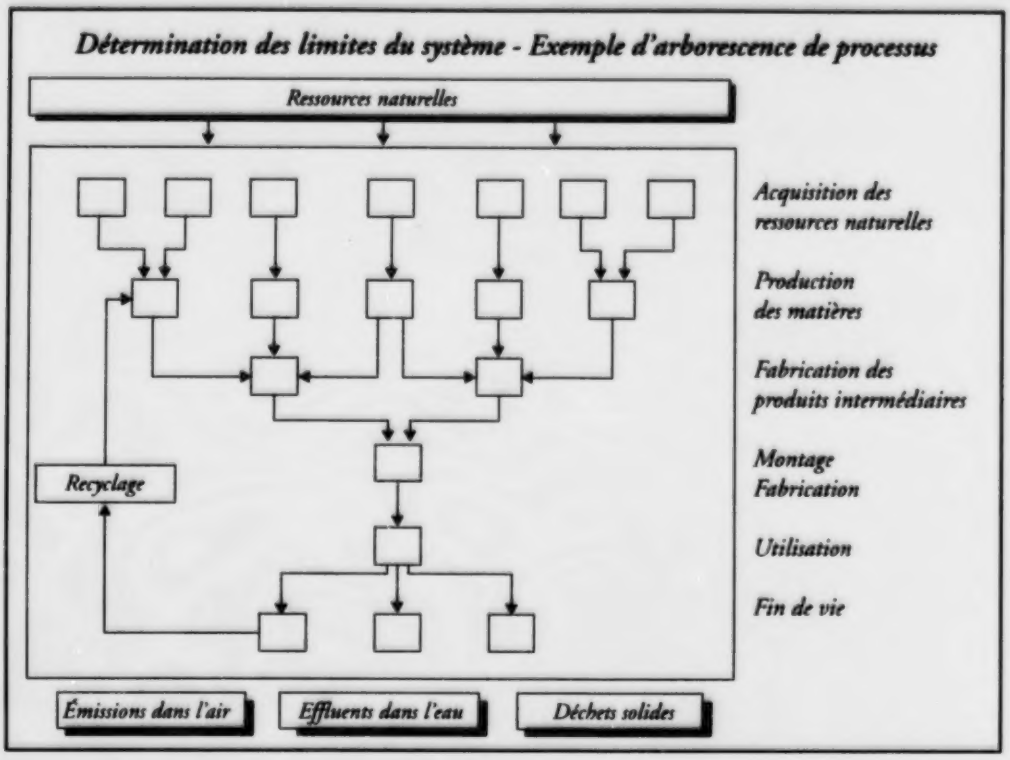


Figure 2 Cycle de vie d'un système-produit générique et son interaction avec l'environnement



3. **Évaluation des incidences potentielles.** L'ECV ne se limite pas à la mesure et à l'analyse quantitatives des intrants-extrants, mais évalue aussi les répercussions possibles sur l'environnement du système-produit aux diverses étapes. Cette évaluation se fait à la lumière des objectifs de l'étude et des valeurs des promoteurs. Pour faciliter l'évaluation, des indicateurs spécifiques liés à diverses catégories d'incidences ont été mis au point. Par exemple, une étude pourrait porter sur la participation d'un produit aux changements climatiques en utilisant un indicateur d'équivalent dioxyde de carbone (CO_2) par unité de production.

Les études de cycle de vie ont diverses applications et peuvent notamment aider à :

- mettre en lumière des occasions d'améliorer les aspects écologiques des produits à divers stades de leur cycle de vie;
- faciliter la prise de décisions au sein de l'industrie et des organisations gouvernementales ou non gouvernementales (planification stratégique, fixation des priorités, conception ou reformulation de produits ou de procédés);

L'ECV et le développement durable

Bien que les définitions du développement durable soient souvent évasives, il est manifeste que toute décision en faveur de la durabilité industrielle (plus faible consommation relative d'énergie et de matières premières, réduction ou élimination des déchets) se répercute forcément sur toutes les étapes du cycle de vie d'un produit ou d'un procédé. Cette évolution nécessite de nouveaux principes de conception fondés sur une approche globale et holistique de la réduction des impacts environnementaux : globale, parce que ces impacts transcendent les frontières nationales; holistique, parce que les solutions à court terme et ponctuelles pour régler une série de problèmes de façon isolée seront de moins en moins efficaces. Un moyen important pour intégrer les facteurs environnementaux à la conception et aux opérations industrielles consiste à adopter l'évaluation du cycle de vie, qui est la meilleure méthode holistique pour mesurer le niveau de propreté. La stratégie d'ECV doit toujours tenir compte des « limites », c'est-à-dire les points dans un processus multiétagé où l'ECV commence et prend fin.

Source : OCDE, Direction des sciences, de la technologie et de l'industrie, Comité des politiques scientifiques et technologiques, *La biotechnologie pour des produits et procédés industriels propres – Vers un développement industriel durable*.

- choisir des indicateurs pertinents des caractéristiques écologiques, dont des techniques de mesure;
- commercialiser un produit (propriétés écologiques alléguées, éco-étiquetage ou déclaration d'un produit écologique).

2.2 Conception écologique

Lorsqu'un produit ou un procédé passe du stade des études à celui de la production, ses attributs environnementaux sont pour l'essentiel déjà fixés, les modes d'utilisation et d'élimination demeurant les seules variables inconnues (Glantshing, 1994). La prise de conscience de ce fait a suscité de l'intérêt pour la conception écologique, également appelée conception de produits écologiques ou d'écoproduits. Le concept de la conception écologique est simple : des améliorations globales et fondamentales aux caractéristiques écologiques peuvent être apportées au moment de la conception du produit. Cela se réalise par l'ajout de critères environnementaux à la liste de conception au moment où les contraintes d'ordre technique et économique sont définies. En principe, des améliorations de grande portée peuvent se faire à toutes les étapes du cycle de vie du système-produit : choix des matières premières, procédés de fabrication, utilisation et activités de fin de vie. Le tableau 1 donne des exemples qui illustrent comment les facteurs de conception écologique peuvent contribuer à assainir l'environnement, à stimuler l'innovation et à renforcer la compétitivité.

La conception écologique (CE) est l'intégration des facteurs environnementaux dans la conception des produits et des procédés. Essentiellement, la CE utilise des outils et des pratiques comme l'ECV qui encouragent la responsabilité environnementale tout en réduisant les coûts, en favorisant la compétitivité et en stimulant l'innovation.

Pour mettre la CE en pratique, il faut renforcer la capacité de l'organisation à intégrer les critères environnementaux aux étapes de conceptualisation et de conception. À cette fin, les concepteurs doivent :

- être sensibilisés aux aspects écologiques des matières premières et des procédés choisis;
- avoir accès à des données et à des indicateurs simplifiés leur permettant de faire des choix éclairés pour les matières premières;
- comprendre les impacts du cycle de vie des produits avec lesquels ils travaillent.

Bien souvent, les études d'ECV répondent à ce besoin en permettant aux concepteurs et aux équipes de développement des produits de mieux comprendre les aspects écologiques du produit qu'ils aident à créer.

Tableau 1 Innovation, compétitivité et conception écologique

Produit, service	Exemple de changement à la conception	Innovation	Avantage concurrentiel
Emballage-portion en papier pour le sucre	La forme de l'emballage est repensée, le sachet de 4 x 6 cm devenant un cylindre de 10 cm	• La quantité de papier est réduite de 30 % • L'emballage secondaire peut être plus petit et l'efficience d'emballage s'en trouve accrue	• Plus grande qualité marchande à cause d'un nouveau « coup d'œil », de la facilité d'utilisation et d'un attrait esthétique accru
Matériel électronique	La consommation de l'énergie de réserve est réduite par des relations d'ordre décimal	• L'énergie est stockée et disponible « sur demande » pour réactiver le dispositif	• Réduction des coûts d'exploitation • Réduction de l'énergie radiative
Moulage de polymère	Des plastiques recyclés sont insérés entre le polymère vierge sur les surfaces internes et externes	• Donne au produit jusqu'à 40 % de teneur en matières recyclées • Les propriétés esthétiques et techniques des deux surfaces sont préservées	• Réduction des coûts des matières premières • Commercialisation d'un produit amélioré pour l'environnement
Combinaison d'un alternateur d'automobile avec un démarreur	Un seul élément sert à deux fonctions	• Réduction du poids du véhicule et du nombre de pièces; économies d'essence	• Baisse des coûts de production • Baisse de poids qui améliore le rendement du véhicule
Dalles de moquette	Élimination de composés potentiellement dangereux et volatils	• Nouveaux procédés qui éliminent des substances toxiques, réduisent les coûts et améliorent la qualité	• Réduction ou élimination des dégagements gazeux – la moquette ne contribue pas à réduire la qualité de l'air intérieur • Baisse des coûts de production • Réduction du risque de fin de vie – pas de substances toxiques qui se lessivent dans les décharges – avec diminution du risque commercial

3.0 Vue d'ensemble du projet

3.1 Objectifs et avantages du projet

Le but de ce projet conjoint d'Environnement Canada et de Nortel Networks était de faire l'évaluation du cycle de vie (ECV) d'un produit manufacturé, le téléphone d'affaires M7310, en vue de mettre au point des stratégies d'amélioration. Plus précisément, le projet avait pour but de :

- démontrer la valeur commerciale du recours à l'ECV et à la CE pour améliorer les caractéristiques écologiques et le rendement économique des produits;
- élaborer des lignes directrices afin d'améliorer la conception écologique de produits;
- permettre à Environnement Canada d'expérimenter et de comprendre les stratégies axées sur le produit (plutôt que sur les installations) pour réaliser des objectifs environnementaux.

Le téléphone a été choisi pour l'étude parce qu'il s'agit d'un appareil bien connu et très perfectionné, faisant appel à bon nombre des technologies et des procédés de fabrication utilisés pour des produits électroniques plus élaborés et plus complexes.

Du point de vue d'Environnement Canada, le projet offrait plusieurs avantages. Par exemple, il donnait au Ministère l'occasion de collaborer avec l'industrie pour mener un type d'étude qui, à cause de ses liens avec la compétitivité économique, se fait le plus souvent en milieu fermé. En outre, il permettait au Ministère d'acquérir une importante expérience du travail en collaboration avec l'industrie pour atteindre des objectifs de société, comme la prévention de la pollution et la réduction des gaz à effet de serre. Enfin, l'étude du téléphone avait une valeur particulière comme projet de démonstration du fait que le téléphone est un produit courant qui est utilisé quotidiennement par la grande majorité des Canadiens. Cet aspect familier aiderait à communiquer les résultats de l'étude.

3.2 Organisation du projet

L'étude d'ECV a été mise en branle par le Bureau national pour la prévention de la pollution d'Environnement Canada et Nortel Networks. Environnement Canada et Nortel Networks ont établi la portée du projet et ont géré le projet. En outre, Nortel Networks a donné accès à des données et à du personnel clé de la société.

L'étude d'ECV a été réalisée par une société d'experts-conseils, le Groupe Ecobilan. Les services d'appui à la collecte des données ont été fournis par Water Technology International et Five Winds International.

Les résultats de l'étude ont été soumis à un processus de révision par des pairs (voir la section 6), sous la présidence de Scott Chubbs de la société d'experts-conseils Virterra Inc. M. Chubbs est un expert en cycle de vie reconnu à l'échelle internationale et est membre du comité consultatif de l'Association canadienne de normalisation sur l'ECV.

Le projet a été lancé en janvier 1997 et parachevé à l'automne de 1998.

4.0 Portée et méthode de l'étude

L'unité fonctionnelle pour l'étude d'ECV a été définie comme étant le service fourni par le produit, soit le téléphone d'affaires M7310, pendant toute la durée de sa vie utile, y compris sa remise à neuf. Le M7310 comprend les options suivantes :

- fonctions d'affichage, dont l'heure, la date et de l'information sur les appels;
- des boutons de mémoire programmable;
- un bouton de mise en attente;
- un système d'interphone;
- un dispositif mains-libres.

Cet appareil n'est pas autonome mais fait partie d'un système central à clés auquel se rattachent douze postes. La base du système à clés (BSC) n'a pas été incluse dans l'unité fonctionnelle pour l'ECV. Toutefois, les effets de la BSC, par téléphone, ont été comparés avec ceux du téléphone lui-même pour donner une idée d'ensemble.

En plus de l'étude de référence (ECV) sur l'appareil téléphonique, le projet comprenait l'analyse d'un certain nombre de scénarios possibles d'amélioration de la conception (CE). Ces scénarios sont les suivants :

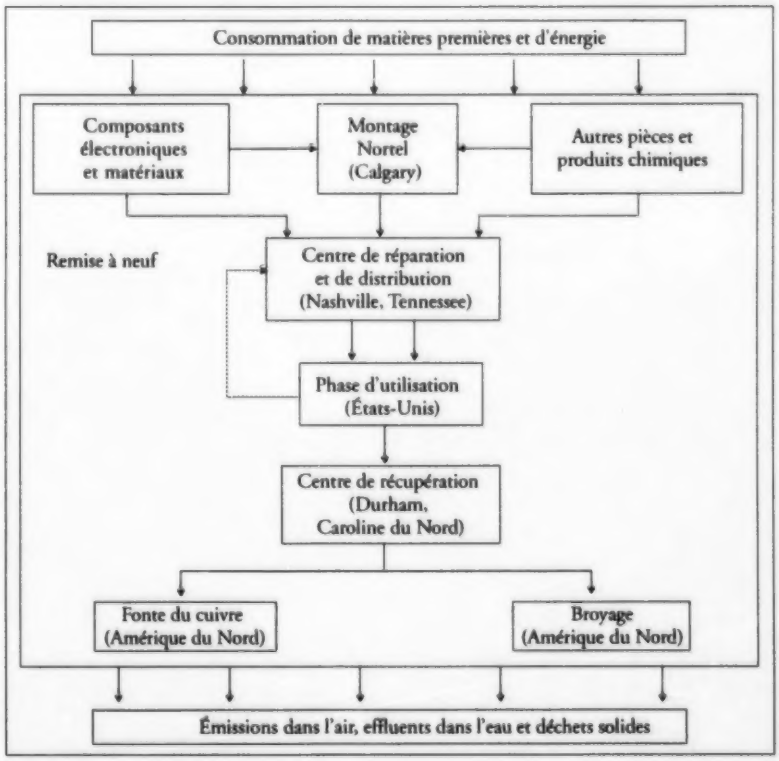
- nouvelle technologie de clavier;
- corps de plastique à parois minces;
- diverses options de fin de vie.

Ces scénarios sont décrits en détail à la section 4.4.5.

4.1 Limites du système étudié

La figure 3 montre les limites du système pour les besoins de l'analyse du cycle de vie du téléphone d'affaires M7310. La modélisation des différentes phases est expliquée en détail à la section 4.4.

Figure 3 Limites générales du système aux fins de l'ECV pour le téléphone d'affaires M7310



4.2 Collecte des données

Les données utilisées pour l'analyse ont été recueillies de plusieurs façons :

4.2.1 Fabrication

Les matières, les procédés et les composants électroniques simples (résistances, condensateurs) ont été intégrés aux modèles à l'aide des données du système DEAM[MC] d'Ecobilan, qui est une base de données environnementales sur le cycle de vie comprenant plusieurs milliers d'ensembles de données utilisés par le logiciel d'évaluation du cycle de vie TEAM[MC] d'Ecobilan.

Par ailleurs, des questionnaires ont été envoyés aux fournisseurs des principaux composants électroniques leur demandant des écoprofils pour tous les aspects de la fabrication de chaque composant. Ces composants étaient les suivants :

- microcircuit intégré C84 – principale puce du téléphone se trouvant sur la carte imprimée du terminal;
- microcircuit intégré A83 – puce du téléphone se trouvant sur la carte imprimée du terminal;
- carte imprimée – soit la carte principale;
- puce de la carte servant à l'afficheur à cristaux liquides (LCD);
- circuits flexibles à pellicule Mylar – pour l'afficheur à cristaux liquides.

À noter que les données pour la puce A83 ont été intégrées au modèle à l'aide des données recueillies pour la puce C84. En outre, les données pour la puce de la carte ont été intégrées au modèle à l'aide des données de la puce C84 et de la carte imprimée.

4.2.2 Étape de distribution

Les données sur la distribution ont été obtenues au moyen d'un questionnaire et d'une visite sur place au Centre de logistique de Nashville de Nortel Networks, à Nashville, au Tennessee.

4.2.3 Étape d'utilisation

Les données sur l'énergie ont été obtenues auprès de Nortel Networks, à Calgary, en Alberta.

4.2.4 Étape de fin de vie

Les données sur ce stade ont été obtenues auprès du Centre de réparation et de distribution de Nortel Networks à Nashville, au Tennessee, et auprès du Centre de récupération de Nortel Networks à Durham, en Caroline du Nord. Des données ont également été obtenues pour le broyage du téléphone et la fonte du cuivre au stade de fin de vie.

4.3 Flux de matière et d'énergie et évaluation des impacts

Divers indicateurs d'impact sont disponibles pour convertir les flux de matière et d'énergie en répercussions environnementales. En raison de leur pertinence par rapport aux objectifs particuliers de la politique environnementale générale de Nortel Networks, les cinq indicateurs d'impact suivants ont été utilisés dans l'étude (se rapporter au glossaire pour les définitions) :

- potentiel de réchauffement planétaire (émissions de gaz à effet de serre);
- indice d'épuisement des matières premières;
- potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone;
- potentiel d'acidification atmosphérique;
- potentiel d'eutrophisation.

Les flux de matière et d'énergie sont normalement comptabilisés par catégories, telles que les combustibles fossiles et l'électricité, le monoxyde de carbone, les matières particulaires, la quantité totale de composés organiques volatils et la quantité totale de métaux dans l'air et dans l'eau. L'étude s'est appuyée sur les catégories suivantes particulières de flux :

- quantité totale d'énergie primaire;
- matières particulaires (air);
- monoxyde de carbone (air);
- quantité totale d'hydrocarbures (air);
- quantité totale de métaux (air);
- quantité totale de solides en suspension (eau);
- quantité totale de métaux (eau);
- quantité totale de déchets dangereux;
- quantité totale de déchets non dangereux.

4.4 Modélisation

La section qui suit expose de façon plus détaillée la modélisation de chacun des divers stades du cycle de vie du téléphone d'affaires M7310 (limites du système en amont, montage, distribution et utilisation, fin de vie) et décrit les divers scénarios de conception écologique.

4.4.1 *Limites du système en amont – Pièces et composants*

La section qui suit présente la structuration de la liste des pièces du téléphone de même que la modélisation des composants des fournisseurs.

Quelque 150 pièces, sous-composants et composants figurent dans la liste des pièces du téléphone d'affaires M7310. La liste des pièces a fait l'objet d'un regroupement des éléments semblables pour produire une liste traitable permettant de modéliser le téléphone. Pour cela, on a combiné les pièces, les sous-composants et les composants en catégories générales comprenant des pièces ou des composants faits de matériaux semblables et fabriqués au moyen de procédés du même ordre. Par exemple, les 44 condensateurs céramiques ont été considérés comme des composants identiques indépendamment de leur capacité individuelle.

La modélisation du téléphone d'affaires M7310 mettait en corrélation les pièces, les composants et les sous-composants choisis avec les matériaux et les procédés correspondants. Trois sources principales de données ont été utilisées pour la modélisation de ces catégories :

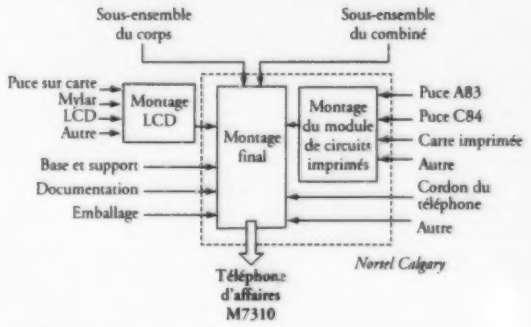
- *Pour les composants complexes (circuits intégrés, puce de la carte, carte imprimée, pellicule conductrice Mylar),* les données des fournisseurs – externes et internes – ont été utilisées.
- *Pour les composants électroniques plus simples (résistances, condensateurs, diodes, etc.),* les modules de composants prêts à l'usage présentant des données d'incidence environnementale pour l'ensemble du module (p. ex., module de résistance) dans la base de données environnementales d'Ecobilan sur les pièces électroniques ont été intégrés au modèle.
- *Pour les pièces non électroniques,* les modules de matériaux et de procédés de la base de données DEAM[MC] d'Ecobilan qui, ensemble, modélisent un composant ou une pièce (p. ex., modélisation d'un corps de téléphone en plastique ABS) ont été utilisés.

4.4.2 *Montage – Nortel Networks, Calgary*

La figure 4 illustre le procédé de montage alors mis en œuvre aux installations de Nortel Networks à Calgary.

En plus des procédés de montage illustrés dans la figure 4, les résistances, les condensateurs, les puces et les autres composants sont assemblés en surface sur la carte imprimée. Ces composants électroniques sont

Figure 4 Procédés de montage et d'assemblage en surface à Nortel Networks, Calgary



* Emballage de circuits imprimés

Remarque : les flux d'énergie et les produits non durables ne sont pas indiqués

livrés par des fournisseurs externes et internes. La modélisation de ce stade du cycle de vie a été réalisée par les opérations suivantes :

- collecte de données sur la consommation d'électricité pour les procédés de montage et d'assemblage en surface, par téléphone;
- collecte de données sur les produits non durables et les émissions de déchets pour les procédés de montage et d'assemblage en surface, de même que pour l'emballage des composants;
- application d'une formule

  poids du composant × *distance transportée*

  pour modéliser le transport des composants électroniques vers les installations de montage. Seuls les dix premiers composants (constituant environ 80 % du poids du téléphone) ont été inclus dans les effets du transport vers l'usine de montage.

4.4.3 *Distribution et utilisation*

En 1997, le téléphone M7310 était fabriqué à Calgary, en Alberta, puis expédié au Centre de logistique de Nortel Networks à Nashville (NLC) pour distribution aux États-Unis. NLC traitait surtout les commandes d'autres centres de distribution des États-Unis mais, dans certains cas, livrait les produits directement au consommateur (c.-à-d. l'utilisateur final). Les petites commandes étaient remballées par NLC avant la distribution, tandis que les grosses commandes étaient livrées directement aux centres de distribution après leur arrivée de Calgary. NLC distribuait également d'autres produits de Nortel Networks, mais les données réunies pour l'étude se limitèrent au téléphone M7310.

L'étape de la distribution a été modélisée de la façon suivante :

- Le trajet de Calgary à NLC à Nashville est de 3 380 km (2 100 milles). Le matériel expédié comprend un téléphone pesant 1,41 kg (3,1 lb) de même que des matériaux d'emballage (palette de bois, emballage et corps de polyéthylène) pesant 0,25 kg (0,55 lb)/téléphone. Le transport se fait à 90 % par camion et à 10 % par avion.
- On a pris pour hypothèse que l'emballage aboutissait à une décharge, à l'exclusion des palettes, dont 80 % sont effectivement envoyées à une décharge tandis que le reste est réutilisé.
- Un trajet routier moyen de 1 020 km (635 milles) doit ensuite être parcouru de NLC à un autre centre de distribution ou directement au consommateur. Pour les besoins de l'étude, on a pris pour hypothèse que 80 % des téléphones étaient expédiés tels quels, tandis que les autres 20 % étaient remballés en plus petits paquets à l'intention des consommateurs eux-mêmes. Ces emballages plus petits sont constitués d'une boîte pliante de neuf téléphones, chacun emballé individuellement dans sa propre boîte. La boîte pliante et les boîtes individuelles pèsent 0,11 kg (0,24 lb)/téléphone.

À l'étape d'utilisation, chaque téléphone consomme 292,3 kJ/semaine (15MJ/an) d'électricité (courant direct) (voir le tableau 2).

4.4.4 Options de fin de vie

Les limites du système ont été repoussées de manière à englober les procédés de broyage et de fonte du cuivre liés au stade de fin de vie du M7310. Dans l'étude de référence, on a postulé que 50 % des téléphones faisaient l'objet d'opérations de broyage à des fins de récupération des matériaux, tandis que les autres 50 % étaient envoyés à la fonderie de cuivre. Le tableau 3 présente les matériaux types et leur sort après les opérations de broyage.

Tableau 2 Consommation d'énergie du M7310 de Nortel Networks

Modes	Courant (mA)	Tension (v)	Heures par jour ouvrable	% du jour ouvrable	% week-end	% semaine complète	Consommation d'énergie kJ/semaine
Repos	24,1	19	19	79,2	100,0	85,1	235,7
Combiné	27,7	19	3	12,5	0,0	8,9	28,4
Mains-libres	41,1	19	2	8,3	0,0	6,0	28,1
TOTAL			24	100,0	100,0	100,0	292,3

Hypothèses :

1. Modèle standard de téléphone de marque dans un milieu d'affaires.
2. Le téléphone est utilisé 5 heures par jour ouvrable, 25 heures par semaine.
3. Toute l'énergie est transmise par le cordon souple à partir de la BSC.

Tableau 3 Teneur en matières types et sort du téléphone broyé

Matière	% du poids	Sort
Plastique ABS	44,0	Recyclage du plastique ABS
Acier	8,9	Recyclage de l'acier
Plastique non ABS	23,0	Déchets solides (12 %) et recyclage de faible valeur (88 %)
Cartes imprimées	2,6	Recyclage du cuivre
Cuivre	5,5	Recyclage du cuivre
Déchets	0,4	Déchets solides
TOTAL	84,4*	

* Les 15,6 % restants représentent la boîte pliante, l'emballage de polymère et la documentation.

4.4.5 Analyses de la BSC et scénarios de conception écologique

Pour avoir une idée des effets relatifs de l'appareil téléphonique M7310 et de la base du système à clés (BSC), les aspects suivants de la BSC ont été analysés :

- Consommation d'énergie à l'étape d'utilisation, étant donné que l'énergie est en règle générale un facteur environnemental des produits électroniques – 1 034 MJ par an.
- Effets gradués des pièces suivantes de la BSC attribuables à l'appareil téléphonique :
  - carte imprimée
  - plastiques (ABS surtout)
  - puces et composants électroniques.

Les scénarios de conception écologique qui suivent ont été modélisés. À noter que ces scénarios représentent des options de conception potentielles et non pas planifiées.

Nouvelle technologie de clavier

Une technologie de clavier plus évoluée a été analysée et modélisée comme suit :

- une arborescence de clés de composition – 60 g de téréphtalate de polybutylène
- un cadran – 20 g d'un mélange de polycarbonate et d'ABS (50-50).

Corps à parois minces

La réduction de la quantité de plastique utilisée pour le corps du téléphone a fait l'objet d'une étude. Le téléphone de référence possède un corps de plastique ABS dont l'épaisseur est de 2,3-3,0 mm (506 g). Dans le nouveau scénario, le corps devrait être constitué d'un mélange de polycarbonate-ABS (environ 50-50) d'une épaisseur de 0,8-1,0 mm (environ 170 g).

Stade de fin de vie

Dans le scénario de référence, on a postulé pour les besoins du modèle que 50 % des téléphones faisaient l'objet d'opérations de broyage pour récupération des matériaux et que les autres 50 % étaient envoyés à la fonderie pour récupération du cuivre. Afin d'améliorer le scénario, on a examiné différents ratios de broyage et de fonte.

5.0 Résultats

Deux principaux ensembles de résultats ont été établis dans le projet. Il s'agit 1) des résultats fondés sur les indicateurs d'impact du cycle de vie de référence et 2) des résultats de l'analyse de la base du système à clés (BSC) et des scénarios de la conception.

Pour chaque indicateur d'impact, les résultats pour le cycle de vie de référence montrent :

- l'étape du cycle de vie la plus polluante selon l'indicateur;
- à l'intérieur des étapes de cycle de vie elles-mêmes (p. ex., fabrication), les activités les plus polluantes selon l'indicateur.

Pour illustrer les types de résultats produits par l'analyse du cycle de vie (ECV), la section 5.1 présente des données détaillées pour l'indicateur de réchauffement planétaire (émissions de gaz à effet de serre). Les résultats de l'incidence du cycle de vie de référence pour les autres indicateurs (épuisement des matières premières, appauvrissement de la couche d'ozone, acidification atmosphérique et eutrophisation) sont présentés à l'annexe.

Dans l'optique de l'ensemble du cycle de vie, les principaux participants aux répercussions environnementales du téléphone M7310 sont : 1) l'étape d'utilisation (consommation d'électricité) pour les émissions de gaz à effet de serre et l'acidification atmosphérique; 2) l'étape de fabrication des composants pour l'épuisement des matières premières et l'eutrophisation de l'eau. Même s'ils ne représentent qu'une très petite partie du produit final, au poids, le principal sous-ensemble de composants électroniques, et notamment les circuits intégrés propres à une application (CIPA) et la carte imprimée, sont les principaux participants aux émissions de gaz à effet de serre à l'étape de fabrication.

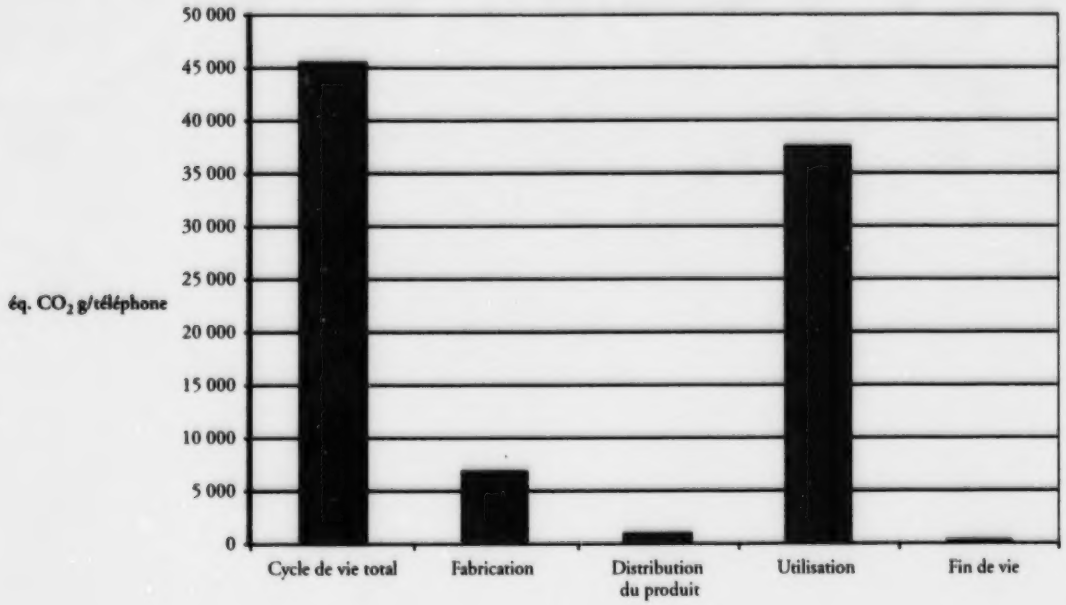
Le deuxième ensemble de résultats est le fruit de l'analyse de la BSC et des scénarios. Dans ce cas, les résultats de l'indicateur de référence ont été comparés avec ceux de la BSC à clés et des trois scénarios de modélisation. Ce processus a permis de dégager les aspects offrant les meilleures perspectives pour l'amélioration des caractéristiques écologiques du système-produit. Les résultats sont présentés à la section 5.2.

Deux des scénarios d'amélioration, soit la nouvelle technologie de clavier proposée et le corps à parois minces, n'ont pas eu d'effet appréciable sur l'incidence de l'ensemble du cycle de vie. Par contre, ces scénarios demeurent valables dans la mesure où ils permettent de réduire les coûts de montage et de fabrication (tout en facilitant le démontage); les résultats montrent que l'ECV conjuguée à d'autres outils peut être le fondement d'un système global de conception écologique (CE).

5.1 Résultats donnés par l'indicateur de référence pour les émissions de gaz à effet de serre

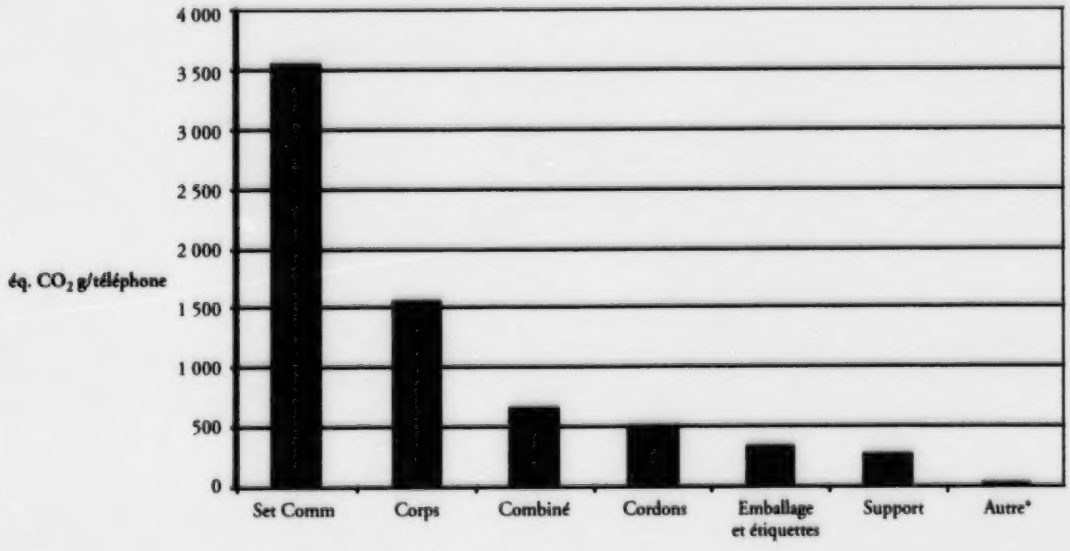
La consommation d'électricité par le téléphone à l'étape d'utilisation est le principal responsable des émissions de gaz à effet de serre (figure 5). Même si ce modèle de téléphone ne consomme qu'une petite quantité d'électricité, cette consommation se fait 24 heures par jour et 7 jours par semaine pendant 10 ans.

Figure 5 Incidence des gaz à effet de serre – Étape du cycle de vie de référence



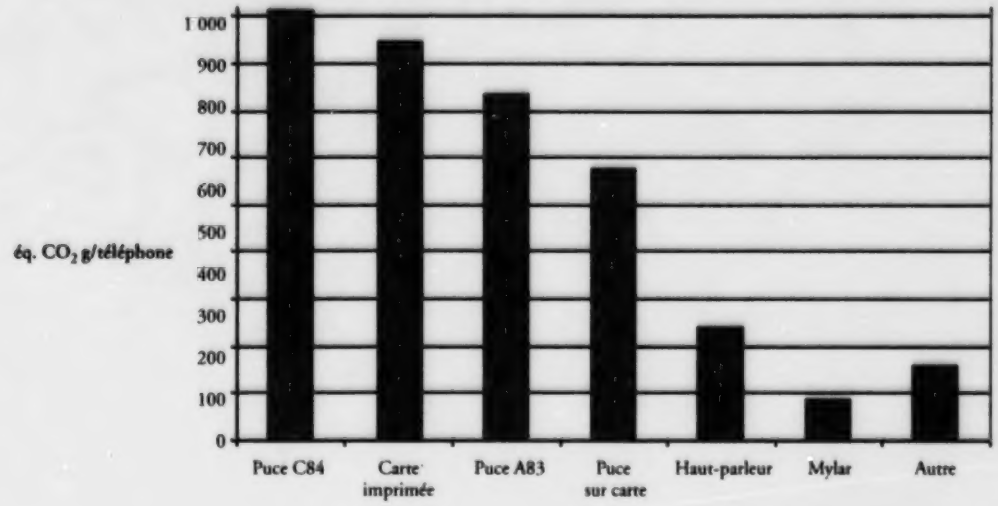
Le deuxième participant aux émissions de gaz à effet de serre est la fabrication. À l'intérieur des opérations de fabrication, la plus grande partie des émissions de gaz à effet de serre sont imputables au sous-ensemble principal de composants électroniques (Set Comm) (figure 6). Une analyse plus poussée a montré que l'électricité de procédé utilisée pour produire les CIPA était la principale responsable de ces résultats.

Figure 6 Incidence des gaz à effet de serre – Étape de fabrication de référence



* Produits non durables, électricité de l'usine de montage

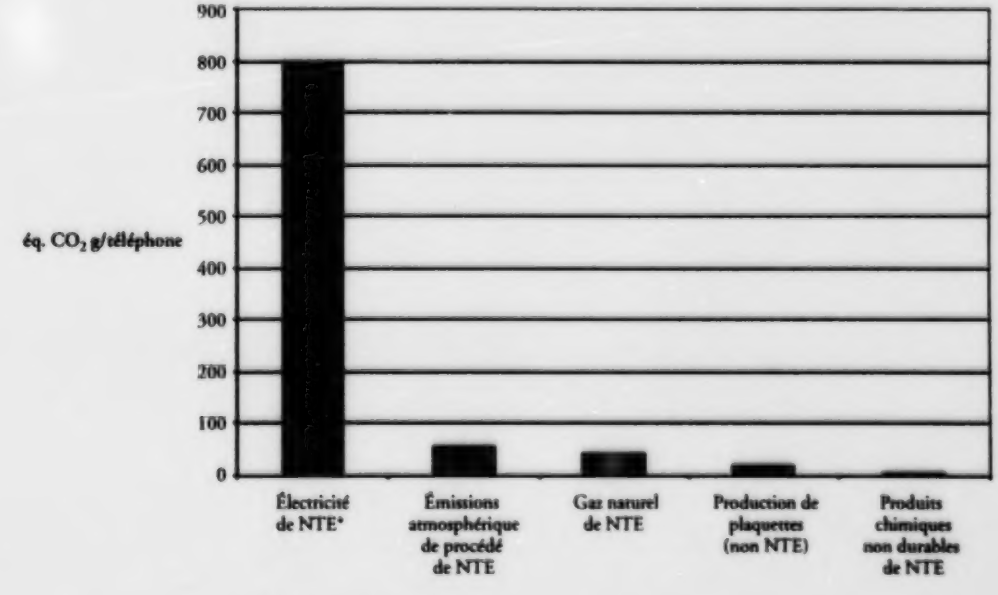
Figure 7 Émissions de gaz à effet de serre – Set Comm de référence



À l'intérieur du sous-ensemble des composants électroniques (Set Comm), la puce C84 est le principal participant aux émissions de gaz à effet de serre (figure 7).

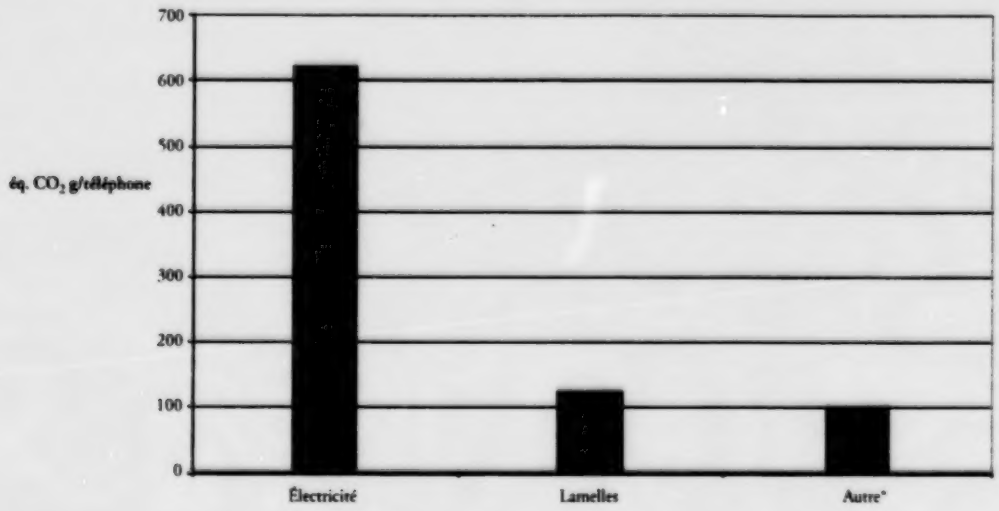
L'incidence potentielle de la puce C84 sous forme d'émissions de gaz à effet de serre est causée principalement par la consommation d'électricité pendant les opérations de production à Nortel Networks Electronics (NTE) (figure 8).

Figure 8 Émissions de gaz à effet de serre – Puce C84 de référence



* Nortel Networks Electronics

Figure 9 Émissions de gaz à effet de serre – Carte imprimée Set Comm de référence



* Émissions de procédé, emballage des composants et transport

L'utilisation moyenne d'électricité de procédé aux États-Unis est la cause principale des émissions de gaz à effet de serre pour la carte imprimée (figure 9).

Les figures 5 à 9 illustrent les leçons que l'on peut dégager d'une analyse du cycle de vie. L'ECV montre quelles sont les opérations du système-produit qui ont le plus d'impacts selon chaque indicateur, en l'occurrence les émissions de gaz à effet de serre. Les concepteurs sont ainsi en mesure de mieux concentrer leur énergie et de faire des comparaisons judicieuses entre la conception courante et les scénarios de rechange. Ce genre de comparaison est illustré dans la section suivante.

5.2 Analyse des scénarios

Les résultats de l'analyse de la BSC et des scénarios présentés à la section 4.4.5 ont été comparés aux résultats de l'étude de référence. Les paragraphes qui suivent en dégagent les conclusions.

5.2.1 Impact de la BSC par rapport au téléphone M7310

La figure 10 montre les effets de la BSC (à partir d'un modèle brut) par comparaison avec ceux du téléphone M7310. On n'a comparé que les étapes de fabrication et d'utilisation, de sorte que l'impact total indiqué ne se rapporte qu'à ces deux stades du cycle de vie. Par ailleurs, seulement 1/12 de l'impact de la BSC est indiqué étant donné que douze appareils s'y rattachent.

En raison de la grande quantité d'énergie consommée à l'étape d'utilisation, la BSC a une incidence beaucoup plus importante que le téléphone de référence sur les émissions de gaz à effet de serre et l'acidification atmosphérique. Les cordons sont le principal participant à l'épuisement des matières premières pour le téléphone et comme aucun cordon n'a été intégré au modèle de la BSC, son impact dans cette catégorie est plus faible. La carte imprimée est responsable de la plupart des effets d'eutrophisation indiqués pour la BSC. En plus de la carte imprimée, l'emballage et les étiquettes sont d'importants participants à l'eutrophisation liée au téléphone lui-même. Les emballages et les étiquettes n'ont pas été inclus dans le modèle de la BSC. En outre, l'analyse ne tient pas compte des câbles du bâtiment qui raccordent chaque poste téléphonique au système à clés.

5.2.2 Nouvelle technologie de clavier

La figure 11 montre l'incidence de la nouvelle technologie de clavier par comparaison avec la technologie existante du téléphone de référence. Comme le clavier n'est pas un facteur d'importance pour aucun des indicateurs d'impact de l'étude de référence, sa modification ne change pas grand-chose à l'incidence de l'ensemble du cycle de vie du téléphone. À noter que l'incidence de la nouvelle technologie de clavier sur l'ensemble des indicateurs du cycle de vie ne s'écarte que de 0,4 p. 100 de celle du téléphone de référence.

Figure 10 Comparaison des impacts du téléphone M7310 de référence avec ceux de la BSC

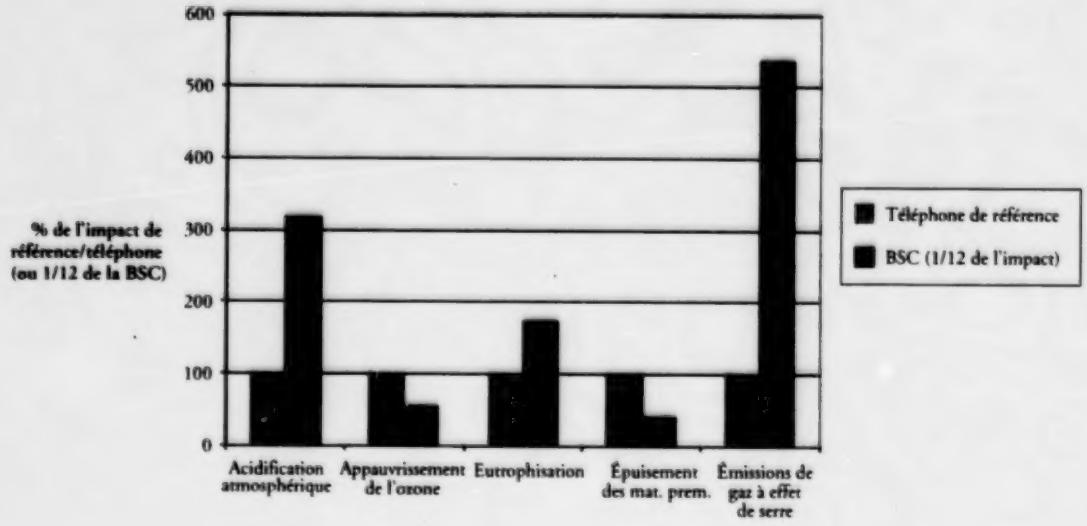
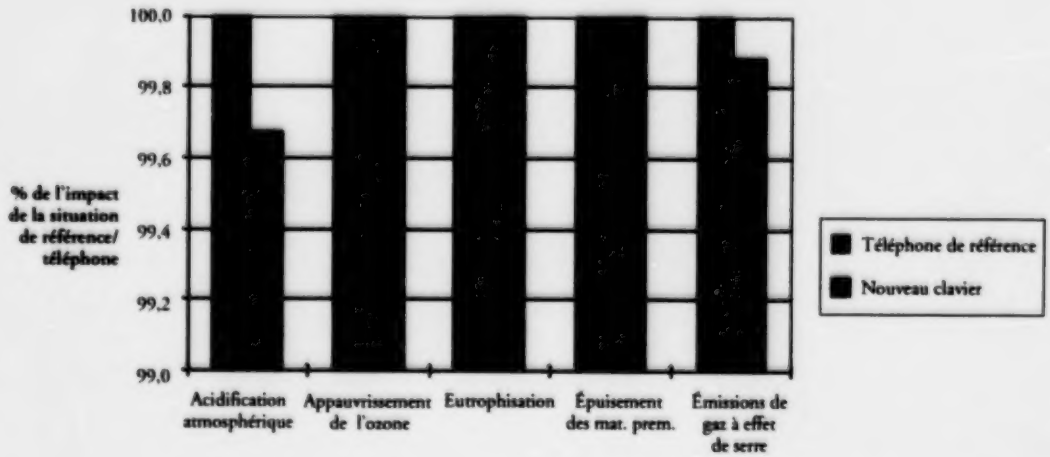


Figure 11 Scénario de nouveau clavier — Cycle de vie total



5.2.3 *Corps à parois minces*

La figure 12 compare les effets du corps à parois minces avec ceux de la situation de référence. Comme le corps n'est un facteur d'importance pour aucun des indicateurs d'impact de l'étude de référence, son remplacement ne change pas grand-chose à l'incidence de l'ensemble du cycle de vie du téléphone.

5.2.4 *Options de fin de vie*

Les prochaines figures illustrent les effets de la modification du pourcentage de téléphones envoyés au broyage dans une usine de West Chicago, en Illinois, plutôt qu'à une fonderie de cuivre de Rouyn-Noranda, au Québec. Globalement, le broyage est préférable pour réduire l'épuisement des matières premières et l'eutrophisation tandis que la fonte du cuivre est préférable pour minimiser les émissions de gaz à effet de serre et l'acidification atmosphérique. Ni le broyage ni la fonte du cuivre ne participent à l'appauvrissement de la couche d'ozone à l'étape de fin de vie.

Figure 12 Scénario de réduction de l'enveloppe – Cycle de vie total

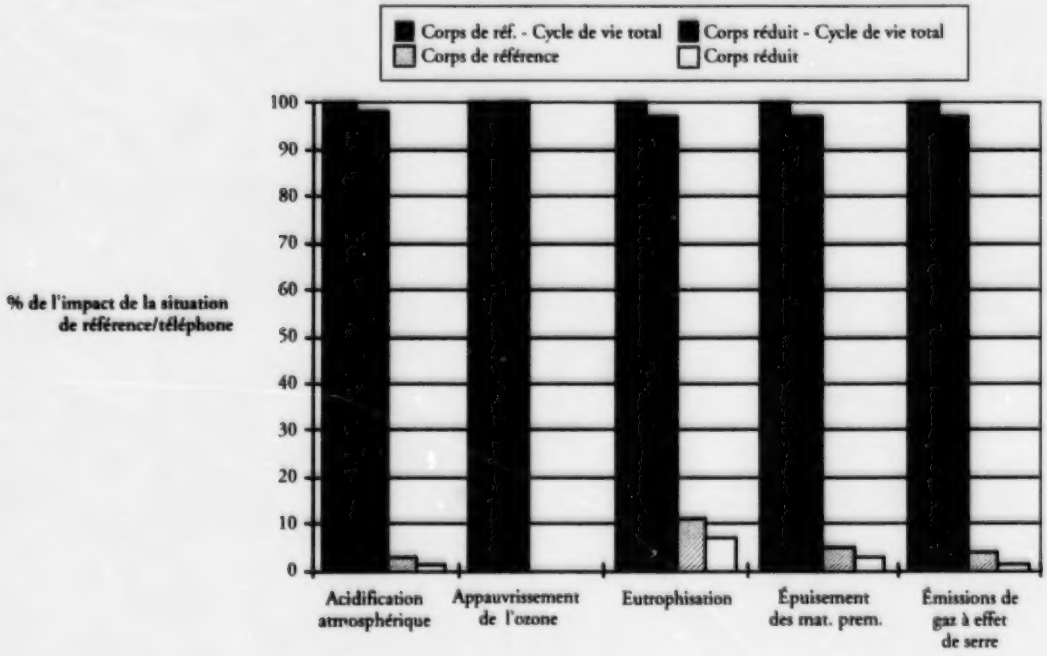
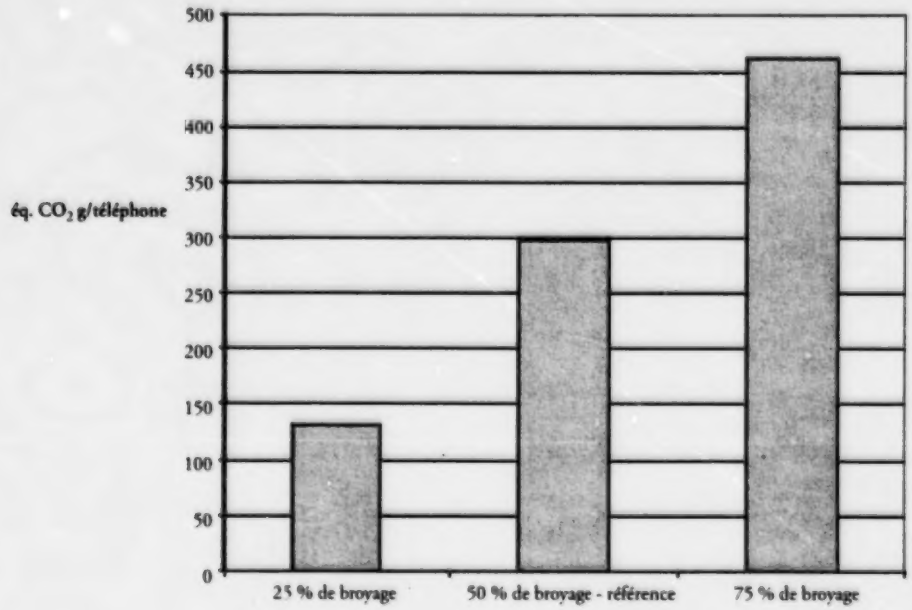


Figure 13 Émissions de gaz à effet de serre – Étape de fin de vie



Comme le montre la figure 13, l'augmentation du pourcentage de téléphones envoyés au broyage a pour effet d'accroître les émissions de gaz à effet de serre à cause des grandes quantités d'électricité nécessaires au broyage. L'étape de fin de vie représente environ 1 p. % du total des émissions de gaz à effet de serre du téléphone pendant toute la durée de son cycle de vie.

Les effets d'épuisement des matières premières ne varient que très légèrement entre le scénario de 25 p. % de broyage et celui de 75 p. % de broyage, représentant environ 2 p. % de l'incidence de l'ensemble du cycle de vie (figure 14). Ces chiffres sont négligeables dans une évaluation du cycle de vie.

Figure 14. Épuisement des matières premières – Étape de fin de vie

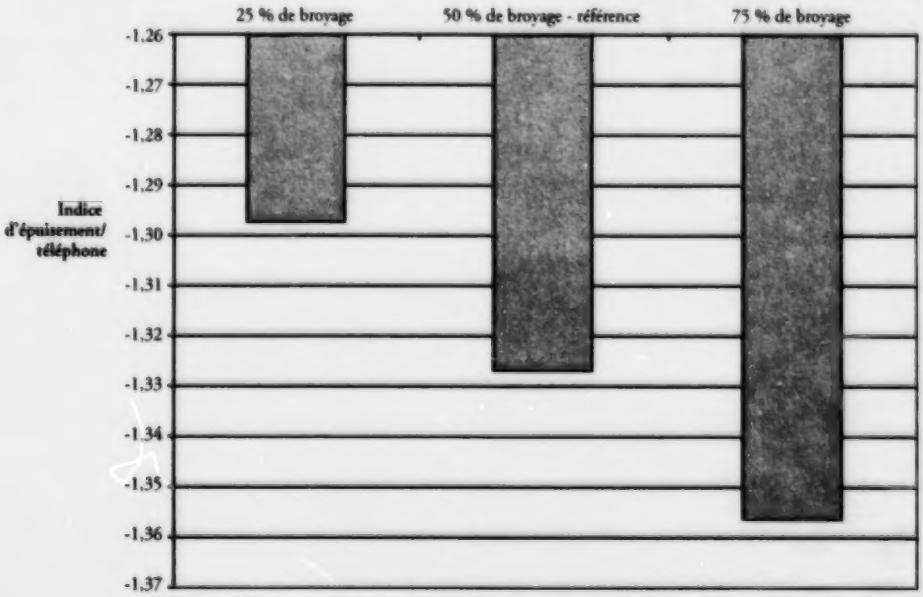
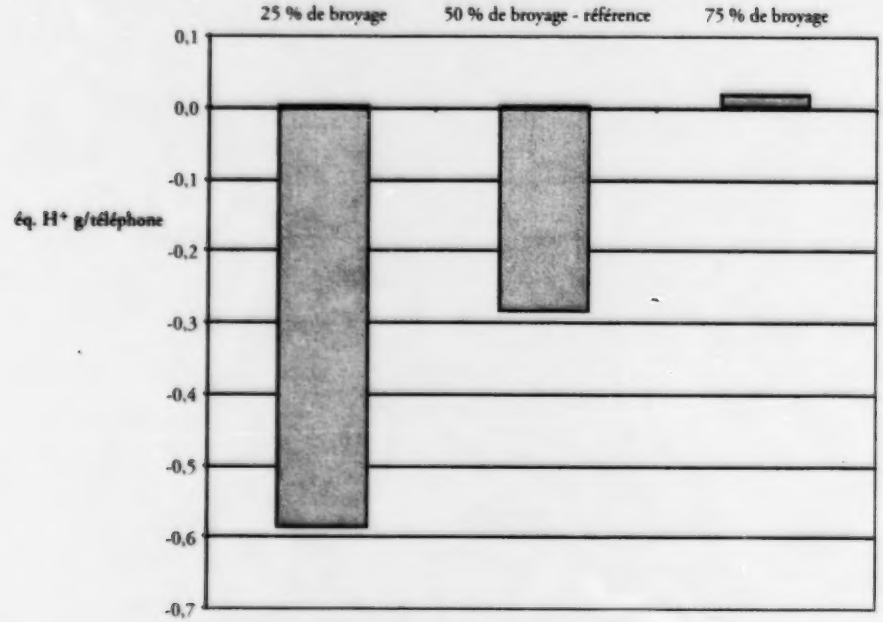


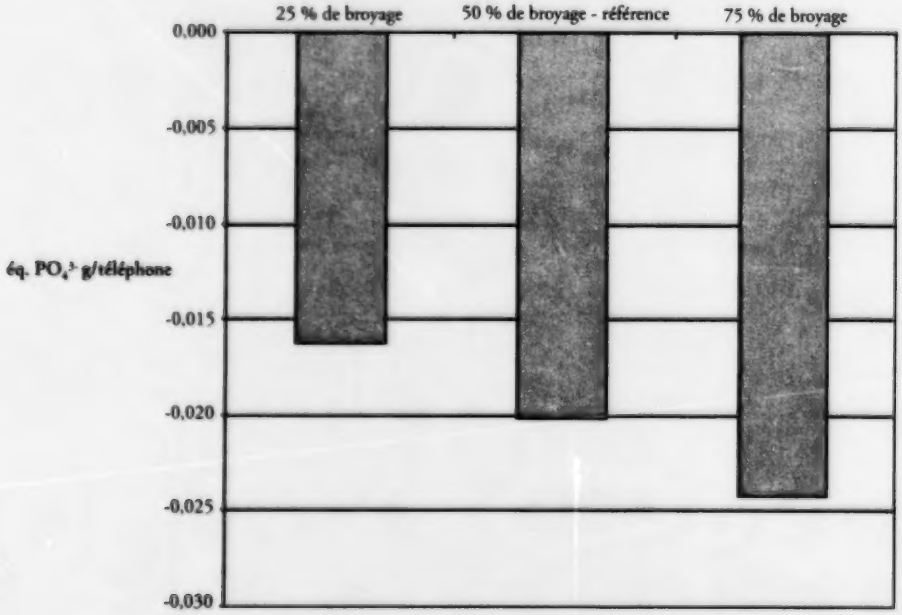
Figure 15 Acidification atmosphérique – Étape de fin de vie



La participation à l'acidification atmosphérique s'accroît proportionnellement au pourcentage de broyage à cause de la forte consommation d'électricité qui caractérise le broyage (figure 15).

Les effets d'eutrophisation varient très peu entre le scénario de 25 p. % de broyage et celui de 75 p. %, ne représentant qu'environ 3,5 p. % de l'incidence de l'ensemble du cycle de vie. Ces chiffres sont négligeables dans une évaluation du cycle de vie.

Figure 16 Eutrophisation – Étape de fin de vie



6.0 Révision par des pairs

La norme internationale sur l'évaluation du cycle de vie (ISO 14040) recommande que les études d'évaluation du cycle de vie (AEV) qui rendent publics les résultats soient soumises à un examen indépendant. Pour notre étude, un examen par des tiers a été réalisé. Les commissaires de l'étude d'ECV ont choisi le président du groupe d'experts, qui pour sa part, a désigné les autres membres du groupe. Le groupe d'experts comprenait Scott Chubbs (président, Virterra Inc., Vancouver, C.-B.), Bill Kiss (Ridgeway Research Corporation, Kanata, Ont.) et le tandem Rob Macintosh et Marlo Raynolds (Pembina Institute for Appropriate Development, Drayton Valley, Alb.).

Pour cet examen d'un seul tenant, le groupe d'experts a puisé dans diverses sources pour l'aider à faire son évaluation, dont les travaux antérieurs d'ECV, des lignes directrices comme celles publiées par la Society for Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) et la norme susmentionnée publiée par l'Organisation internationale de normalisation (ISO). Le groupe a évalué les méthodes utilisées pour réaliser l'étude, le bien-fondé des données utilisées, l'interprétation des résultats de l'étude et le degré de transparence et de cohérence du rapport d'étude. Toutefois, le groupe n'a pas validé les objectifs de l'étude ni l'application subséquente des résultats de l'ECV.

Le groupe d'experts a jugé que si le projet représentait une excellente étape initiale pour décrire le cycle de vie d'un téléphone d'affaires, il comportait des limites à certains égards. Ces limites ont trait surtout à la capacité de l'étude de satisfaire au deuxième objectif du projet, précisé à la section 3.1, à savoir élaborer des lignes directrices afin d'améliorer la conception écologique de la prochaine génération de produits de Nortel Networks.

Cette conclusion souligne un écueil auquel se heurtent de nombreux promoteurs et praticiens de l'ECV, soit la façon d'intégrer de façon efficace les données d'ECV aux processus décisionnels de l'entreprise. Une lecture attentive de notre étude de cas montre que des lignes directrices sont effectivement proposées pour la conception (voir la section 7), mais l'adoption de ces lignes directrices a été entravée, pour des raisons de gestion, par un changement de priorités au sein de la société et par des problèmes de synchronisme liés au parachèvement de l'étude d'ECV. En conséquence, les scénarios de conception écologique ont été explorés avant que l'ECV ne soit achevée. Idéalement, cette situation ne devrait pas se présenter et les concepteurs devraient bénéficier des résultats de l'ECV avant d'explorer les améliorations possibles à la conception.

Une façon d'éviter ce genre de problème est de veiller à ce que les données de l'ECV soient mieux intégrées au processus de conception grâce à l'utilisation d'outils logiciels et de listes de vérification de conception s'appuyant sur des indicateurs fondés sur les données d'ECV. Une telle démarche rend l'information plus facilement disponible pour la prise de décisions et gagne en popularité à mesure que les logiciels et les outils de conception écologique se généralisent sur le marché.

La révision par des pairs a été une étape utile puisqu'elle a montré la voie à suivre pour améliorer la transparence et la communication des résultats de l'étude.

7.0 Conclusions

7.1 Implications des résultats de l'analyse du cycle de vie

L'étape d'utilisation des produits électroniques est souvent celle dont l'incidence est la plus importante sur l'environnement à cause de l'électricité consommée. Dans l'étude qui nous intéresse, le téléphone étudié consomme de petites quantités d'électricité (fournies uniquement par la ligne téléphonique), par comparaison avec des téléphones plus modernes qui offrent un plus grand nombre de fonctions et un plus gros affichage. Même si le téléphone consomme relativement peu d'électricité, cette consommation se fait 24 heures par jour et 7 jours par semaine pendant plus de 10 ans. Environ 80 p. % de l'énergie consommée par le téléphone est dépensée à un moment où le téléphone n'est pas utilisé. Cela permet de croire à des gains environnementaux possibles que pourraient offrir des fonctions comme « la mise en veilleuse » pour les produits électroniques d'utilisation intermittente.

Si l'objectif est de réduire les émissions de gaz à effet de serre et l'acidification atmosphérique, les efforts doivent porter sur la réduction de la consommation d'électricité à l'étape d'utilisation et de la consommation d'électricité de procédé à l'étape de la fabrication des composants électroniques, en particulier les circuits intégrés. L'efficacité énergétique de l'étape d'utilisation pourrait être améliorée au moyen de nombreuses techniques, dont la mise en veilleuse du produit lorsqu'il n'est pas utilisé, le recours à la technologie des circuits intégrés à faible consommation d'énergie, les nouvelles architectures de conception et les techniques de correction du facteur de puissance. L'amélioration de l'efficacité énergétique des produits est justifiée par des motifs économiques étant donné que les coûts de l'énergie (achat d'énergie, frais d'immobilisations engagés pour assurer la fiabilité du courant et frais d'immobilisations liés aux systèmes de climatisation et de ventilation mis en place pour enlever l'excédent de chaleur causé par les pertes) sont souvent un élément non négligeable du coût total de propriété du produit pour les consommateurs. Cela n'est peut-être pas totalement le cas d'un simple téléphone, mais c'est sûrement celui des produits de réseaux de communications plus élaborés et plus complexes, tels que les autocommutateurs privés et les centraux de commutation téléphonique.

Il serait possible de réaliser des réductions plus appréciables si l'amélioration de la conception visait les systèmes téléphoniques de bureau où un grand nombre de postes sont reliés à un central. Il faudrait comparer les avantages de ces améliorations avec ceux des autres possibilités d'augmentation du rendement énergétique des bureaux de manière à assurer le meilleur rendement possible du capital investi par rapport à la réduction des répercussions sur l'environnement. Toute stratégie d'amélioration de la conception doit aussi tenir compte des autres facteurs de conception pour assurer le maintien intégral de la fonctionnalité et de la performance.

La production des circuits intégrés se classe au premier rang pour les répercussions environnementales à l'étape de fabrication. Le fait que la production des circuits imprimés soit complexe et à forte intensité énergétique ne saurait étonner les personnes qui travaillent dans le domaine. Ce qui est étonnant, c'est l'ampleur de son impact, qui a pour effet d'amoindrir celui des autres composants auxquels les analyses d'ECV/CE accordent traditionnellement une place de choix (corps de plastique ou de métal, emballage, traitements de surface). Cette constatation pourrait bien inciter l'industrie électronique à repenser sa façon de définir et de concevoir ses produits.

7.2 Scénarios d'améliorations potentielles

Une fois normalisés par téléphone, les impacts de la base du système à clés (BSC) se sont avérés cinq fois plus importants que ceux de l'appareil téléphonique, ce qui signale des gains potentiels plus importants pour une conception écologique de cet élément du système global. Rétrospectivement, il fallait s'attendre à ce résultat étant donné que l'essentiel de l'intelligence et de la fonctionnalité du système se trouve dans la BSC. Même s'il est difficile de généraliser pour les autres produits et systèmes, ce résultat pourrait aussi influer sur les décisions futures concernant l'orientation des efforts d'ECV et de CE pour les systèmes électroniques complexes.

La nouvelle technologie de clavier proposée et le corps à parois minces n'ont pas modifié sensiblement l'incidence de l'ensemble du cycle de vie, quelle que soit la catégorie d'incidence ou le flux de matière et d'énergie. Toutefois, on peut quand même défendre ces scénarios en faisant valoir la réduction des coûts de montage et de fabrication (et la facilité de démontage) qu'ils permettraient. D'ailleurs, leurs résultats illustrent les avantages d'avoir recours à

l'ECV en complément d'autres outils pour mettre en œuvre une stratégie globale de la conception écologique.

L'analyse du scénario de fin de vie a permis d'examiner l'effet de la variation du pourcentage de téléphones envoyés pour broyage dans une usine de West Chicago, en Illinois, plutôt qu'à une fonderie de cuivre de Rouyn-Noranda, au Québec. Cette analyse met en évidence les pour et les contre souvent inhérents à l'évaluation des options de gestion de fin de vie. Les résultats montrent que le broyage est préférable pour réduire les pertes de matières premières et l'eutrophisation. Par contre, la fonte du cuivre est à privilégier si l'on veut réduire les émissions de gaz à effet de serre et l'acidification atmosphérique.

Nortel Networks multiplie les efforts afin d'améliorer l'efficacité énergétique dans son usine de fabrication de circuits imprimés à Ottawa, en Ontario, depuis plusieurs années. Il semble bien que l'industrie des semi-conducteurs en général commence aussi à s'intéresser davantage aux possibilités d'efficacité énergétique. Ainsi, le Rocky Mountain Institute du Colorado, de renommée mondiale, a récemment terminé une étude sur l'efficacité énergétique des usines de fabrication de micropuces d'ordinateur (pour plus de détails, visitez le site Web à l'adresse : http://www.rmi.org).

7.3 Utilisation de l'ECV comme outil de conception écologique

L'étude a confirmé que l'ECV était un outil systématique et utile permettant de quantifier les répercussions d'un produit sur l'environnement pendant la durée de son cycle de vie. L'ECV est particulièrement efficace pour dégager les nombreux effets environnementaux différents d'un produit et mettre en lumière ceux qui prédominent. Les résultats de l'ECV peuvent alors servir à concentrer les efforts subséquents de conception écologique de manière à ce que les ressources limitées soient appliquées aux pressions les plus importantes du produit qui s'exercent sur l'environnement (c'est-à-dire optimiser les ressources de la CE).

Pour tirer le maximum de l'ECV, il importe de partir de ses résultats pour guider le processus de conception écologique. Comme on l'a vu précédemment, en raison de contraintes de temps et de ressources, cela n'a pas été possible pour ce projet. En conséquence, les scénarios de conception écologique qui ont été explorés avant que l'ECV soit parachevée ont eu peu d'effet sur l'incidence de l'ensemble du cycle de vie dans chacune des catégories d'impact et de flux de matière et d'énergie.

Pour des raisons de pertinence et de gestion, l'analyse environnementale du cycle de vie devrait être liée, dans la mesure du possible, à l'analyse économique. Il faudrait de plus amples études pour mieux comprendre les possibilités de réduction des coûts qui pourraient découler de l'étude.

Les ressources humaines et financières investies pour la réalisation de l'ECV, ainsi que le temps qui y a été consacré à l'aide des méthodes traditionnelles décrites, ont été considérables. Il fallait s'y attendre pour une ECV initiale, mais les coûts devraient diminuer avec l'expérience. Toutefois, étant donné que les cycles de développement des produits dans de nombreuses industries deviennent plus courts, il pourrait n'être pas réaliste d'intégrer l'ECV traditionnelle au processus de développement d'un produit « en temps réel ». Il conviendrait plutôt de voir dans l'ECV un outil de conception écologique « en différé » permettant de déterminer les principales stratégies et les lignes directrices pour la conception de la génération suivante du produit.

La principale pierre d'achoppement de l'ECV a trait à la difficulté d'accéder à des données de qualité. Même si souvent des données sont recueillies, celles-ci ne sont pas centralisées et ne sont pas forcément adaptées aux besoins de l'ECV (p. ex., les émissions environnementales d'un lieu donné ne sont pas normalement ventilées en fonction de produits particuliers). En outre, la collecte de données à partir de sources primaires peut être extrêmement coûteuse en temps.

Ces remarques au sujet des ressources et du temps que nécessite l'ECV traditionnelle témoignent du besoin de mettre au point des outils simples et très poussés de conception écologique que l'on puisse facilement intégrer aux processus de conception existants.

7.4 Conclusions générales

De façon générale, le projet a permis de mieux comprendre la complexité des systèmes-produits tels que le téléphone et l'utilité d'outils comme l'ACV et la conception écologique pour améliorer le rendement environnemental des systèmes-produits.

Glossaire

ABS
Abréviation de acrylonitrile/butadiène/styrène. L'ABS est un type de plastique souvent utilisé comme enveloppe de matériel électronique, tel que des téléphones, des ordinateurs personnels et des télécopieurs.

Circuits intégrés propres à une application (CIPA)
Microplaquette semi-conductrice produite pour une application particulière à l'intention d'un client bien précis. Ces circuits intégrés sont créés à l'aide d'un ensemble de programmes logiciels. La conception fait l'objet d'une simulation qui prédit sa performance dans les pires situations de production. Ces simulations servent à garantir la performance des puces produites.

Potentiel d'acidification atmosphérique
Un des indicateurs choisis pour l'étude de cas en vue de traduire les flux de matière et d'énergie en répercussions environnementales. L'indice d'acidification atmosphérique mesure les possibilités de génération de précipitations acides susceptibles de contaminer l'eau potable, d'endommager la végétation et la vie aquatique et d'éroder les immeubles et les monuments.

Central téléphonique
Installation à laquelle les téléphones d'un réseau téléphonique public sont connectés. Le central téléphonique est le lieu où l'entreprise de télécommunications installe l'équipement de commutation et où les lignes et les liaisons téléphoniques se terminent. Il s'agit de la première ligne sur le plan du système téléphonique dans son ensemble. C'est de là qu'émanent la tonalité, la sonnerie du téléphone et la liaison avec d'autres postes téléphoniques ou liaisons.

Conception écologique (CE)
Examen systématique, au moment de la conception, des questions liées à la sécurité et à la santé de l'environnement pendant toute la durée du cycle de vie d'un produit. On peut définir la conception écologique comme le déplacement des concepts traditionnels de prévention de la pollution vers l'amont, c'est-à-dire vers l'étape de développement des produits avant leur production et leur usage.

Éco-étiquetage
Étiquetage des produits de manière à donner de l'information sur leurs attributs environnementaux. Un comité de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) a classifié les programmes d'éco-étiquetage en trois grandes catégories : programmes de certification par des tiers; autodéclaration des fabricants; profils de répercussions sur l'environnement.

Potentiel d'eutrophisation
Un des indicateurs choisis pour l'étude de cas en vue de traduire les flux de matière et d'énergie en répercussions environnementales. L'indice d'eutrophisation mesure le potentiel de création d'une surabondance d'éléments nutritifs dans l'eau causant des changements généralement non souhaitables, comme la réduction du nombre d'espèces dans les écosystèmes, et réduisant la biodiversité. Par exemple, l'eutrophisation peut causer la prolifération des algues, réduisant la quantité d'oxygène disponible, et entraîner par conséquent la mort d'autres espèces, comme les poissons.

Potentiel de réchauffement planétaire
Un des indicateurs choisis pour l'étude de cas en vue de traduire les flux de matière et d'énergie en répercussions environnementales. L'indice de réchauffement planétaire mesure la participation du système-produit aux émissions de gaz à effet de serre, exprimée en équivalents dioxyde de carbone. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a dressé une liste des « meilleures estimations provisoires » pour le potentiel de réchauffement planétaire causé par divers gaz, par comparaison avec le dioxyde de carbone, en se fondant sur le jugement autorisé de scientifiques de toutes les régions du monde. Comme cette liste est reconnue à l'échelle internationale, elle a été utilisée pour l'étude de cas.

Flux de matière et d'énergie
Il s'agit de l'évaluation de la matière ou de l'énergie qui entre dans le système étudié (ayant été puisée dans l'environnement sans transformation humaine préalable) et de la matière ou de l'énergie qui quitte le système examiné (étant rejetée dans l'environnement sans transformation humaine subséquente) (définition de la norme ISO 14041).

ISO 14000
L'Organisation internationale de normalisation a élaboré la série de normes ISO 14000. Ces normes portent sur les systèmes de gestion de l'environnement, la vérification environnementale, l'éco-étiquetage, l'évaluation des caractéristiques écologiques et l'évaluation du cycle de vie. Il s'agit de normes volontaires pour la mise au point d'une conception commune, à l'échelle mondiale, des systèmes de gestion susceptibles de protéger l'environnement de la planète tout en stimulant le commerce international.

Base du système à clés (BSC)
Appareil commun qui commande le système téléphonique à clés. La BSC est normalement alimentée par un circuit à déclenchement par boucle qui peut se manifester sur tous les postes téléphoniques et fonctionner sans téléphoniste. Un téléphone à clés est un appareil relié à un système à clés. Normalement, toutes les lignes du système apparaissent sur l'appareil.

Évaluation du cycle de vie (ECV)
Outil servant à quantifier et à évaluer les pressions et les répercussions sur l'environnement liées aux systèmes et activités d'un produit, depuis l'extraction des matières premières dans la terre jusqu'à leur élimination en fin de vie. L'ECV est de plus en plus utilisée par l'industrie, les gouvernements et les groupes écologistes pour fonder les décisions en matière de stratégie environnementale et de sélection des matières premières. L'étape initiale de l'ECV comprend la définition des objectifs et de la portée de l'étude, ainsi que la collecte et l'évaluation des données de l'inventaire du cycle de vie.

Inventaire du cycle de vie (ICV)
Phase de l'évaluation du cycle de vie. Les données d'ICV quantifient les matières, l'énergie et les émissions liées à un système fonctionnel (p. ex., fabrication, distribution, utilisation et élimination de 1 kg de rouleau laminé à chaud). Cette phase précède l'évaluation et l'interprétation de l'impact du cycle de vie (ou écobilan), qui consiste à classifier, caractériser et évaluer ces données en rapport avec les répercussions environnementales.

Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone
Un des indicateurs choisis pour l'étude de cas en vue de traduire les flux de matière et d'énergie en répercussions environnementales. L'indice d'appauvrissement de la couche d'ozone mesure le potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique, qui protège le milieu de vie et le milieu physique contre les effets nocifs des rayons ultraviolets du soleil.

Polycarbonate
Type de plastique. Le polycarbonate est un matériau plus solide et plus élaboré que l'ABS. Il coûte plus cher que l'ABS et est souvent utilisé comme matériau de corps en plastique pour des appareils électroniques légers comme des téléphones cellulaires et des ordinateurs portables.

Autocommutateur privé (PBX)
Système centralisé permettant d'établir une liaison téléphonique entre deux abonnés. Autrefois, les téléphonistes établissaient toutes les liaisons manuellement. La compagnie de téléphone se trouvait dans un « bureau central » de commutation. Les téléphonistes répondaient aux appels et, après avoir obtenu du client le numéro demandé, inséraient la fiche dans le cavalier approprié. Le service n'était offert que pour un seul téléphone car il n'existait pas de services multilignes ni d'appareil de commutation. Les clients qui voulaient disposer de deux lignes devaient avoir deux téléphones sur leur bureau. Afin de répondre à la demande grandissante de matériel capable de gérer plus d'une ligne, la compagnie de téléphone s'est mise à vendre des « centraux » qu'une société privée pouvait utiliser comme relais du central de la compagnie de téléphone. C'est pourquoi ces commutateurs ont été appelés « privés ». La société pouvait alors avoir ses propres téléphonistes pour établir la liaison avec tous les postes du système. Les clients ont ainsi été en mesure de se raccorder à tous les circuits tout en n'ayant qu'un seul téléphone sur leur bureau.

Indice d'épuisement des matières premières
Un des indicateurs choisis pour l'étude de cas en vue de traduire les flux de matière et d'énergie en répercussions environnementales. L'indice d'épuisement des matières premières mesure les pertes de combustibles fossiles et de ressources minérales en tenant compte à la fois de la quantité absolue utilisée par le système-produit et de la rareté des matières premières par rapport aux réserves existantes.

Normes de l'Organisation internationale de normalisation (ISO)

ISO 14000. 1996. *Systèmes de management environnemental — Spécifications et lignes directrices pour l'utilisation.*

ISO 14040. 1998. *Analyse du cycle de vie. Principes et cadre.*

ISO 14041. 1999. *Analyse du cycle de vie. Analyse de l'inventaire.*

ISO 14042. *Analyse du cycle de vie — Évaluation des impacts.* Document de travail.

ISO 14043. *Analyse du cycle de vie — Interprétation.* Document de travail.

Normes de l'Association canadienne de normalisation (CSA)

CSA Standard PLUS 1107. 1994. *User's Guide to Life Cycle Assessment: Conceptual LCA in Practice.* ISSN 0383-2082.

CSA Standard Z760-94. 1994. *Life Cycle Assessment.* ISSN 0317-5669.

Ressources Internet

Pour une liste complète des publications sur l'ECV, des organismes (internationaux, fédéraux, étatiques et du secteur privé) qui utilisent l'ECV, ISO 14000, des agences environnementales, des laboratoires nationaux, des universités, des instituts de recherche, des ONG, des sociétés d'experts-conseils, des consortiums d'industries, des logiciels environnementaux et d'ECV et des conférences liées à l'ECV, s'adresser à : **http://www.life-cycle.org**

Environnement Canada, Bureau national de la prévention de la pollution : **http://www3.ec.gc.ca/cppic/index_f.htm**

ECOCYCLE (bulletin d'Environnement Canada qui donne de l'information sur les politiques et les questions techniques en rapport avec la gestion du cycle de vie environnementale des produits) : **http://www.ec.gc.ca/ecocycle**

European Environment Agency : **http://www.eea.eu.int**

Recycling Insights & Trade; Index to World Wide Web Links (publié par CPM, Inc.) : **http://www.recycling-insights.com/index.html**

Sustainable Development (page tenue à jour par le Centre d'études économiques et sociales de l'environnement de l'Université Libre de Bruxelles) : **http://www.ulb.ac.be/ceese/meta/sustvl.html**

Site Web spécialisé dans l'ECV et la conception écologique : **http://love.kaist.ac.kr/~kcr/links.htm**

Organisations internationales

European Environment Agency : **http://www.eea.eu.int**

Organisation internationale de normalisation (ISO) : **http://www.iso.ch**

The International Environmetrics Society (TIES) : **http://www.cciw.ca/environmetrics/intor.html**

Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) — Work Group on Sustainable Product Development : **http://unep.frw.uva.nl**

La Banque mondiale — Power Development, Efficiency and Household Fuels Division — The Environmental Manual for Power Development : **http://www.worldbank.org/html/fpd/em**

Revues électroniques

Ecosite (revue électronique sur l'ECV, avec manchettes et une boutique virtuelle de logiciels) : **http://www.ecosite.co.uk**

The Journal of Sustainable Product Design : **http://www.cfsd.org.uk/journal**

Product Stewardship Advisor (abonnement nécessaire) : **http://www.cutter.com/psa**

Revues imprimées

Ecomed Publishers (**http://www.ecomed.de**). *International Journal of LCA* : **http://www.ecomed.de/journals/lca/welcome1.htm**

MIT Press (**http://mitpress.mit.edu**). *Journal of Industrial Ecology* : **http://mitpress.mit.edu/journal-home.tcl?issn=10881980**

SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry). *SETAC LCA News :* **http://www.setac.org/news.html**

Livres et articles

Allenby, Braden R. et Thomas E. Graedel, 1995, *Industrial Ecology*, Prentice Hall College Div., ISBN 0131252380.

Ciambrone, David F., 1997, *Environmental Life Cycle Analysis*, Lewis Publishers, Inc., ISBN 1566702143.

Curran, Mary Ann (sous la direction de), 1996, *Environmental Life-Cycle Assessment*, McGraw Hill, ISBN 007015063X.

Environnement Canada, 1997. *Environmental Life Cycle Management — A Guide for Better Business Decisions*, ISBN 0-662-25636-0.

Fiksel, Joseph (sous la direction de), 1995, *Design for Environment: Creating Eco-Efficient Products and Processes*, ISBN 0070209723.

Graedel, T.E. et B.R. Allenby, 1997, *Design for Environment*, Prentice-Hall Engineering/Science/Mathematics, ISBN 0135316820. (Analyse des effets des décisions industrielles sur l'environnement. Les efforts portent sur les actions de dépollution du passé dans une optique de croissance industrielle non préjudiciable à l'environnement.)

IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 1995, *Proceedings of the 1995 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, ISEE: May 1–3, 1995, Orlando, Florida*, IEEE. ISBN 0780321375.

Keoleian, George A. et Dan Menerey, 1994, *Product Life Cycle Assessment to Reduce Health Risks and Environmental Impacts*, Noyes Publications, ISBN 0815513542.

Nordic Council of Ministers, 1995, *Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment*, ISBN 92-9120-692-X, p. 45–49.

Ryding, Sven-Olof, 1995, *Environmental Management Handbook: The Holistic Approach from Problems to Strategies*, IOS Press, ISBN 9051990626.

Schaltegger, S. et Arthur Braunschweig (sous la direction de), *Life Cycle Assessment (LCA) — Quo Vadis*, 1997, Birkhauser, ISBN 0817653414.

Society of Automotive Engineers, 1995, *Proceedings of the 1995 Total Life Cycle Conference (SAE Conference Proceedings, Vol. 293)*, ISBN 1560916745.

Vigon, B.W. (sous la direction de) et C.L. Harrison, 1994, *Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles*, Lewis Publishers, Inc., ISBN 1566700159.

Publications de la Society for Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)

Site Internet principal :
http://www.setac.org./pubs.html

Publications électroniques

A Conceptual Framework for Life-Cycle Impact Assessment : **http://www.setac.org./lca.html#S2**

Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice : **http://www.setac.org./lca.html#S3**

Life-Cycle Assessment Data Quality: A Conceptual Framework : **http://www.setac.org./lca.html#4**

A Technical Framework for Life-Cycle Assessment : **http://www.setac.org./lca.html#S1**

Publications imprimées

Les publications de la SETAC-Europe sur l'ECV peuvent être obtenues auprès du bureau européen de la SETAC, Publications, à l'attention de Kim Courjaret, av. E. Munier 83, Boîte postale 1, 1200, Bruxelles, Belgique. Tél. : 32 2 772 7281. Téléc. : 32 2 770 5386.
Courriel : 100725.3525@compuserve.com

Allocation in LCA, 1994. Commande 27.

Fourth LCA Symposium for Case Studies, 1996. Commande 612.

Integrating Impact Assessment into LCA, 1994. Commande 30.

Life Cycle Assessment: Inventory, Classification, Valuation, Data Bases, 1992. Commande 22.

Third LCA Symposium for Case Studies, 1995. Commande 611.

Towards a methodology for life cycle impact assessment. Commande 41.

Annexe : Autres résultats mis en évidence par les indicateurs d'impact du cycle de vie de l'étude de référence

I. Épuisement des matières premières

Les figures allant de I.1 à I.8 illustrent l'épuisement des matières premières lié aux diverses étapes du cycle de vie d'un téléphone M7310. Les données sont fondées sur les résultats mis en évidence par les indicateurs d'impact du cycle de vie de l'étude de référence, l'indicateur étant ici l'épuisement des matières premières. Ces résultats indiquent l'étape du cycle de vie qui participe le plus à l'épuisement des matières premières. Ils signalent également les activités qui consomment la plus grande quantité de matières premières à l'intérieur des diverses étapes du cycle de vie. L'épuisement des matières premières est quantifié à l'aide d'un indice d'épuisement/téléphone (sauf à la figure I.7 où l'on utilise un indice d'épuisement/condensateur).

La figure I.1 présente une valeur négative pour l'indice d'épuisement de l'étape de fin de vie. La raison en est que les matières sont récupérées et libérées pour utilisation future au cours de cette étape. Toutefois, la valeur négative de fin de vie n'est pas aussi importante que la valeur à la fabrication, étant donné que tout n'est pas récupéré à l'étape de fin de vie et que ce qui est récupéré ne l'est pas à 100 p. 100 d'efficacité.

Figure I.1 Épuisement des matières premières aux diverses étapes du cycle de vie d'un téléphone M7310

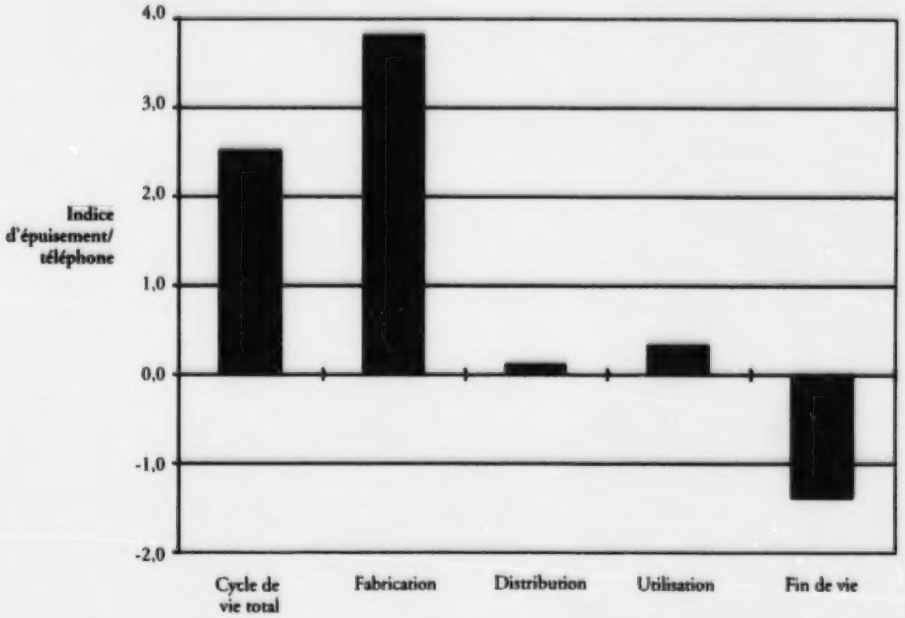
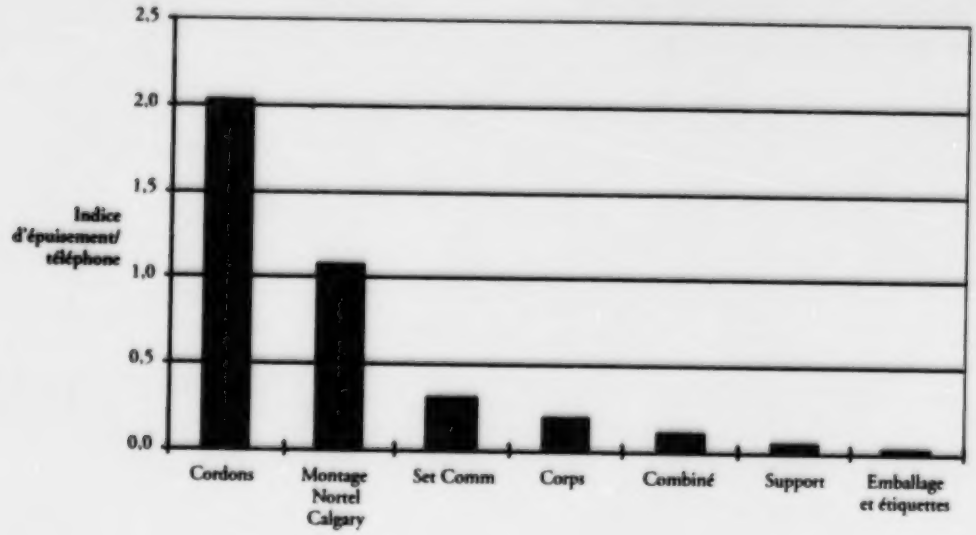


Figure I.2 Épuisement des matières premières selon les diverses opérations de fabrication d'un téléphone M7310



La figure 1.2 ci-dessus présente une ventilation de l'épuisement des matières premières pour les divers composants au cours de la fabrication.

Comme l'illustre la figure I.3, le cuivre utilisé dans les cordons du téléphone fait de ce composant le principal agent d'épuisement des matières premières.

Figure I.3 Épuisement des matières premières imputable aux cordons d'un téléphone M7310

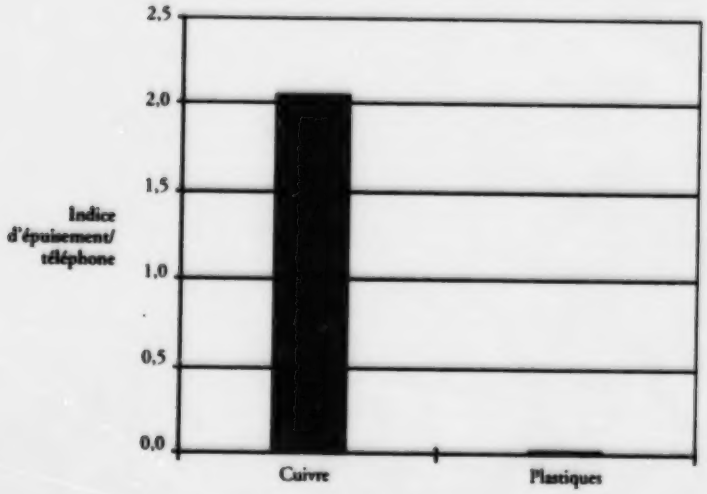
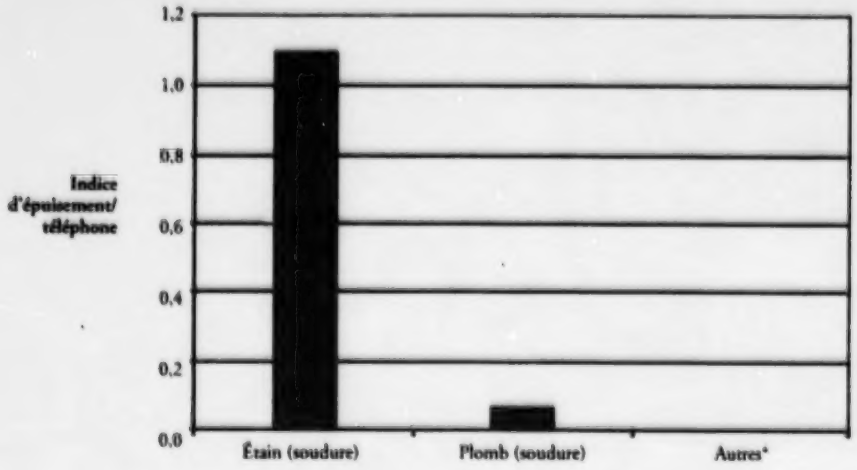


Figure I.4 Épuisement des matières premières imputable aux opérations de montage de Nortel Networks à Calgary pour un téléphone M7310

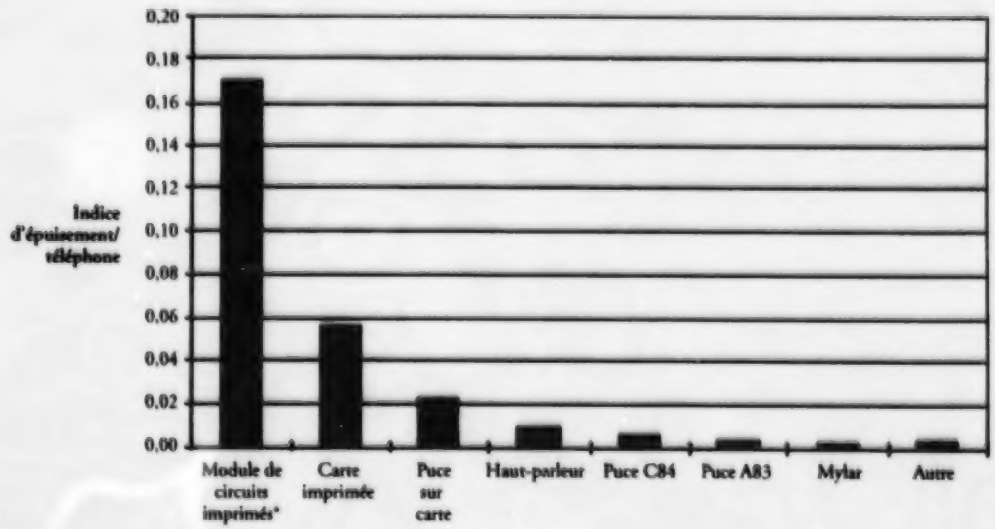


* Électricité, transport vers l'usine de montage, etc.

L'épuisement des matières premières dans les opérations de montage de Nortel Networks, à Calgary, était causé principalement par la soudure, comme le montre la figure I.4. Toutefois, le cuivre utilisé dans les cordons est un facteur encore plus important d'épuisement des matières premières, étant donné que la quantité de cuivre des cordons est plus grande que la quantité d'étain et de plomb utilisée dans la soudure pour un téléphone M7310.

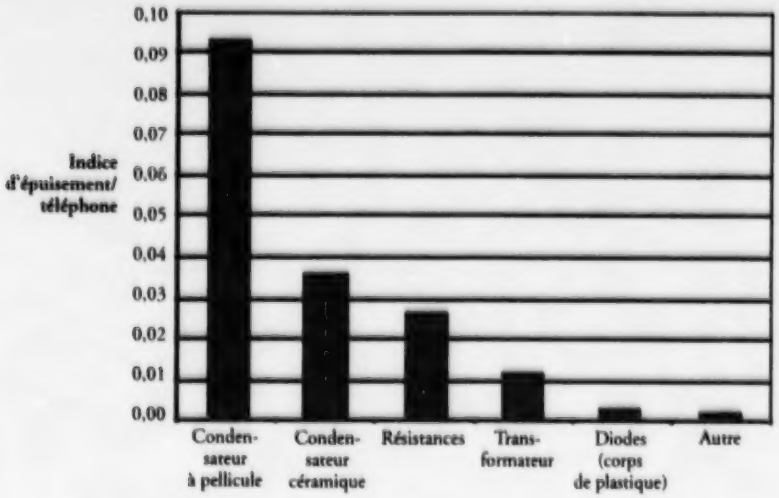
Les composants électroniques du téléphone M7310 comprennent des métaux, ce qui explique pourquoi le sous-ensemble électronique (Set Comm) est le principal agent d'épuisement des matières premières. La participation du Set Comm est illustrée à la figure I.5.

Figure I.5 Épuisement des matières premières imputable au Set Comm d'un téléphone M7310



* À l'exclusion des puces C84 et A83 et de la carte imprimée

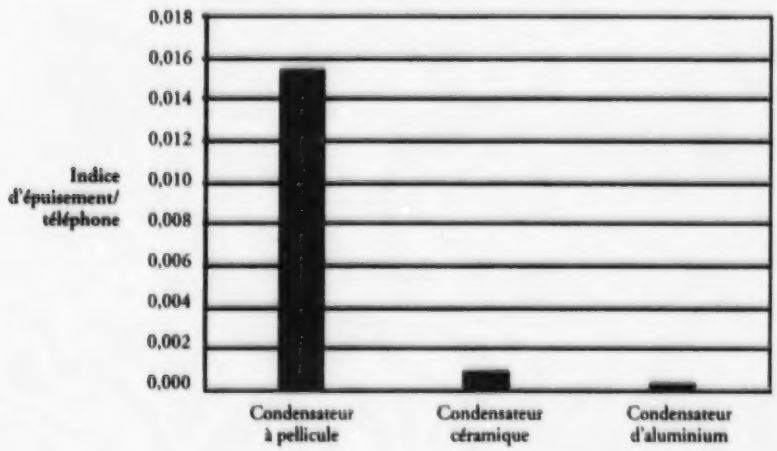
Figure I.6 Épuisement des matières premières attribuable au MCI (à l'exclusion des puces C84 et A83 ainsi que de la carte imprimée) d'un téléphone M7310[1]



Dans la catégorie des modules de circuits imprimés (MCI), les condensateurs à pellicule sont les principaux responsables de l'épuisement des matières premières. La participation des condensateurs céramiques est due à leur teneur en cuivre tandis que celle des résistances s'explique par leur teneur en étain (figure I.6).

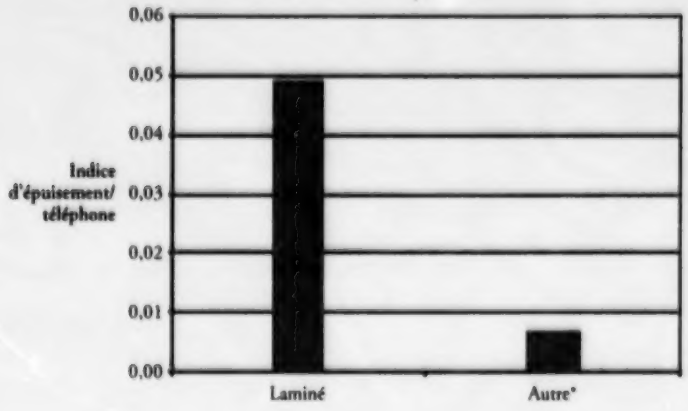
Dans la figure I.7, la participation relative de chacun des condensateurs est illustrée par les matières premières que contient chacun des composants (étain du condensateur à pellicule, cuivre du condensateur céramique et bauxite du condensateur d'aluminium). La figure ne fait pas état de la participation des condensateurs à l'épuisement des matières premières dans un téléphone M7310.

Figure I.7 Épuisement des matières premières imputable aux divers condensateurs



[1] Les données pour tous ces composants proviennent de la base de données électronique du Groupe Ecobilan et ne sont pas des données primaires.

Figure I.8 Épuisement des matières premières imputable à la carte imprimée du Set Comm d'un téléphone M7310



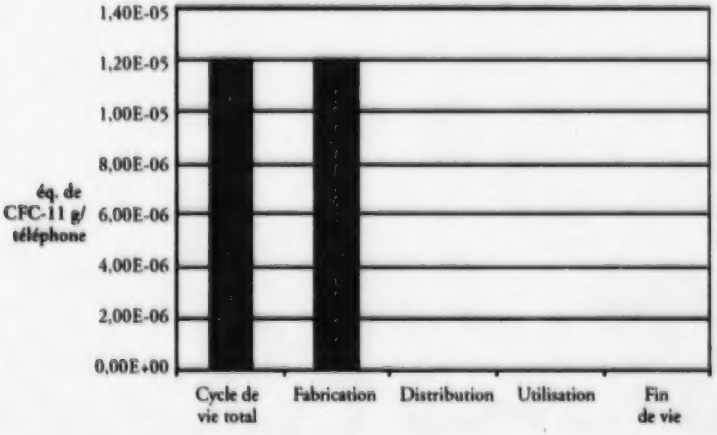
* Électricité, transport du composant, etc.

L'épuisement des matières premières imputable à la carte imprimée (figure I.8) est causé principalement par le cuivre contenu dans le laminé.

II. Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone

La figure II.1 illustre le potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone lié aux diverses étapes du cycle de vie d'un téléphone M7310. Les données sont fondées sur les résultats mis en évidence par les indicateurs d'impact du cycle de vie de l'étude de référence, l'indicateur étant ici le potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone. Ces résultats indiquent l'étape du cycle de vie qui est la principale responsable de l'appauvrissement potentiel de la couche d'ozone. Les résultats signalent également les activités qui participent le plus au potentiel d'épuisement de la couche d'ozone à l'étape de fabrication. Le potentiel d'appauvrissement de la

Figure II.1 Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone lié aux étapes du cycle de vie d'un téléphone M7310



couche d'ozone est quantifié ici en équivalents CFC-11 g/téléphone.

Tous les effets d'appauvrissement de la couche d'ozone proviennent des données d'inventaire en amont du cycle de vie des composants. Les émissions totales sont très réduites (de l'ordre de 10^{-5} éq. CFC-11 g/téléphone) et les données primaires recueillies ne font nullement état de cet effet d'appauvrissement de la couche d'ozone.

III. Acidification atmosphérique

Les figures III.1 à III.5 illustrent les effets d'acidification atmosphérique liés aux diverses étapes du cycle de vie d'un téléphone M7310. Les données sont fondées sur les résultats mis en évidence par les indicateurs d'impact du cycle de vie de l'étude de référence, l'indicateur étant ici l'acidification atmosphérique. Les résultats indiquent l'étape du cycle de vie qui participe le plus à l'acidification atmosphérique. Ils signalent également les activités qui sont les causes principales de l'acidification atmosphérique à l'étape d'utilisation. L'acidification atmosphérique est quantifiée ici sous forme d'équivalents H^+ g/téléphone.

La cause principale de l'acidification atmosphérique dans le cycle de vie total est la consommation d'électricité à l'étape d'utilisation du téléphone aux États-Unis. L'acidification atmosphérique de l'étape d'utilisation est attribuable principalement aux émissions d'oxydes de soufre (SO_x) et d'oxydes d'azote (NO_x) (figure III.1).

Figure III.1 Acidification atmosphérique liée aux étapes du cycle de vie d'un téléphone M7310

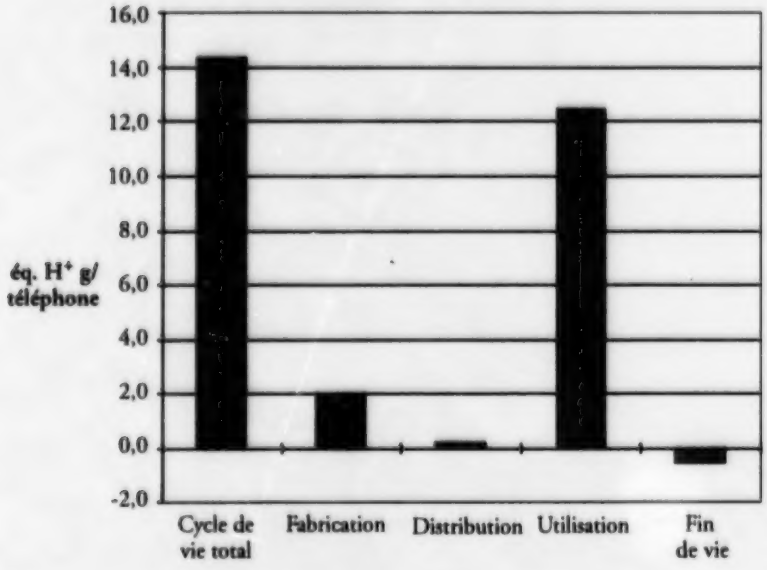
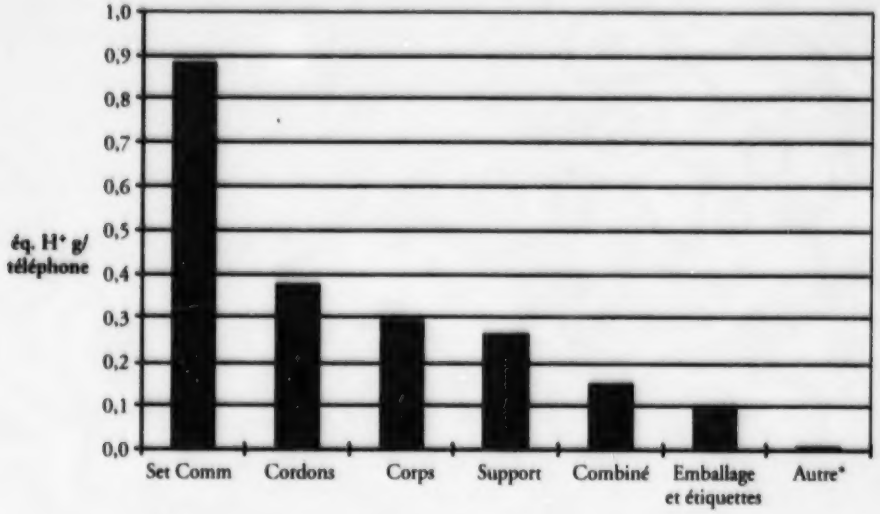


Figure III.2 Acidification atmosphérique liée à l'étape de fabrication d'un téléphone M7310

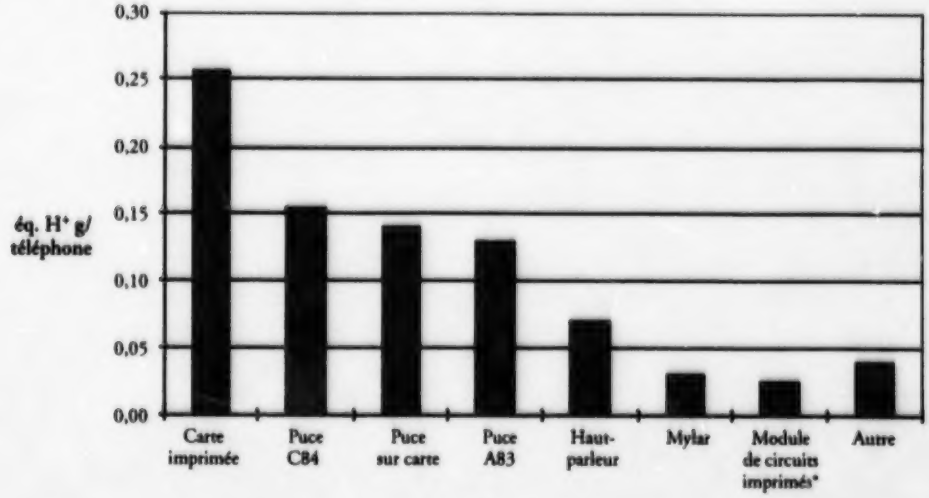


* Produits non durables, électricité de l'usine de montage

Si l'on compare la figure III.2 avec la figure 6, on s'aperçoit que l'acidification atmosphérique à l'étape de fabrication est proportionnelle à la consommation d'énergie. Les autres effets d'ordre énergétique proviennent principalement de la production des matières.

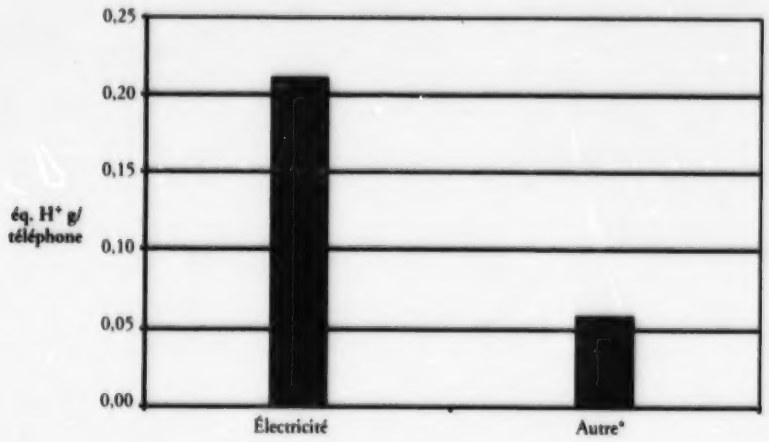
La figure III.3 montre que la carte imprimée est un agent plus important d'acidification atmosphérique potentielle que la puce C84 (par opposition aux émissions de gaz à effet de serre). La raison en est que d'importantes quantités de SO_x et NO_x sont émises dans l'atmosphère au moment du laminage de la carte.

Figure III.3 Acidification atmosphérique liée à la production du Set Comm d'un téléphone M7310



* À l'exclusion des puces C84 et A83 ainsi que de la carte imprimée

Figure III.4 Acidification atmosphérique liée à la production de la carte imprimée du Set Comm d'un téléphone M7310

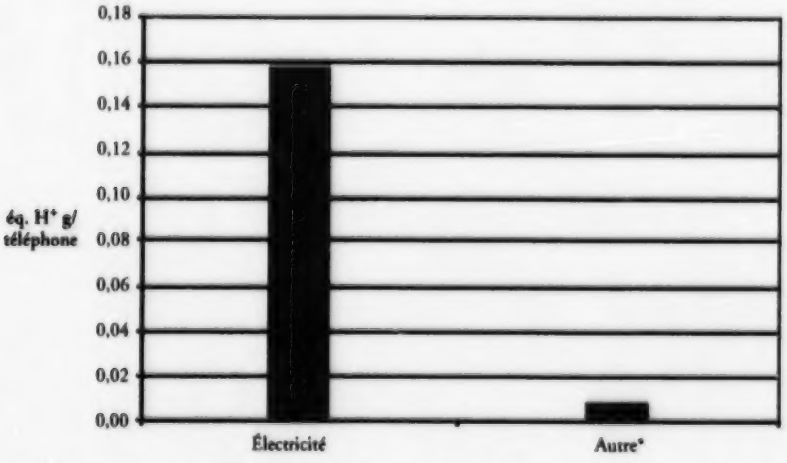


* Transformation, matières, etc.

La figure III.4 illustre l'importante participation de la consommation d'électricité à l'acidification atmosphérique pour la carte imprimée. La catégorie « autre », qui comprend les opérations de laminage, est aussi une cause non négligeable d'acidification atmosphérique.

La figure III.5 montre que la consommation d'électricité pendant les étapes de production de la puce C84 sont les principales causes d'acidification atmosphérique. Les émissions atmosphériques provenant de la production des matières de la puce C84 ne sont pas importantes pour l'acidification de l'air.

Figure III.5 Acidification atmosphérique liée à la production de la puce C84 du téléphone M7310



* Transformation, gaz naturel, biens non durables, etc.

IV. Eutrophisation

Les figures IV.1 à IV.4 illustrent les effets d'eutrophisation liés aux diverses étapes du cycle de vie d'un téléphone M7310. Les données sont fondées sur les résultats mis en évidence par les indicateurs d'impact du cycle de vie de l'étude de référence, l'indicateur étant ici l'eutrophisation. Les résultats indiquent la phase du cycle de vie qui est le principal agent d'eutrophisation. Ils signalent aussi les activités qui participent le plus à l'eutrophisation à l'étape de fabrication. L'eutrophisation est quantifiée ici sous forme d'équivalents phosphate (PO_4^{3-} g/téléphone).

La plupart des effets d'eutrophisation sont causés par la demande chimique en oxygène (DCO), ainsi que par les composés ammoniacaux et azoteux déversés dans les effluents aqueux à l'étape de fabrication (figure IV.1).

Figure IV.1 Effets d'eutrophisation liés aux étapes du cycle de vie d'un téléphone M7310

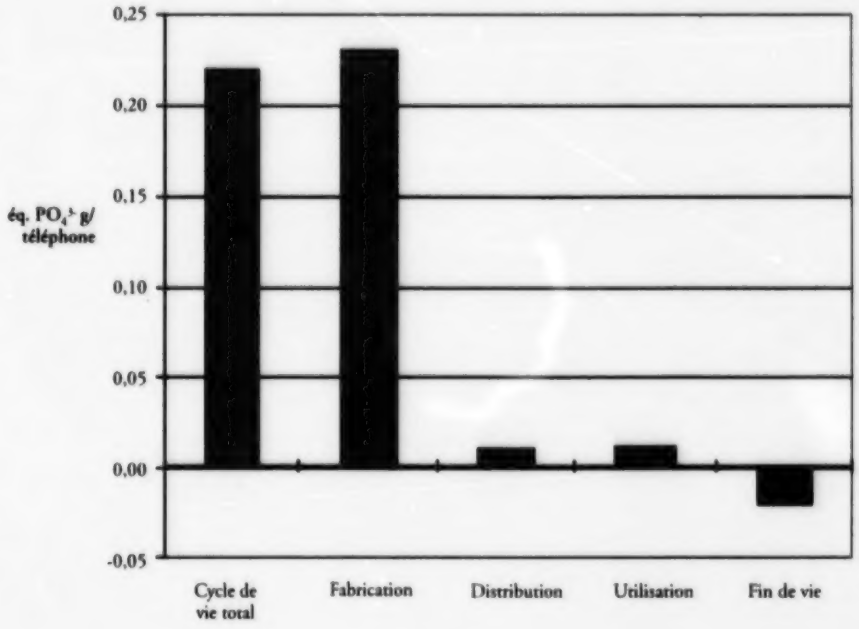
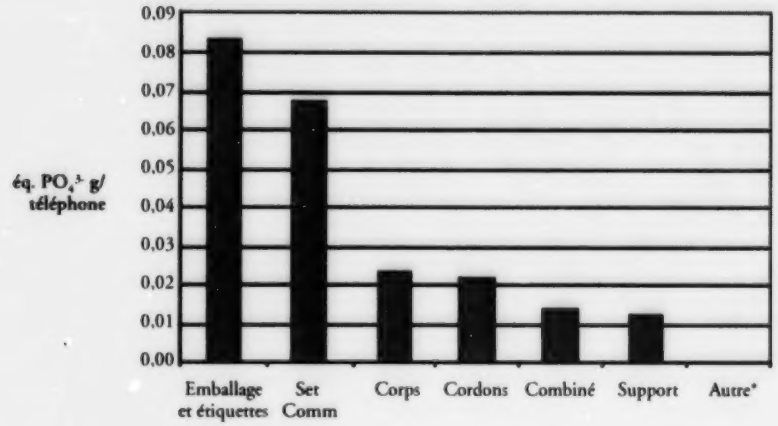


Figure IV.2 Effets d'eutrophisation liés à l'étape de fabrication d'un téléphone M7310

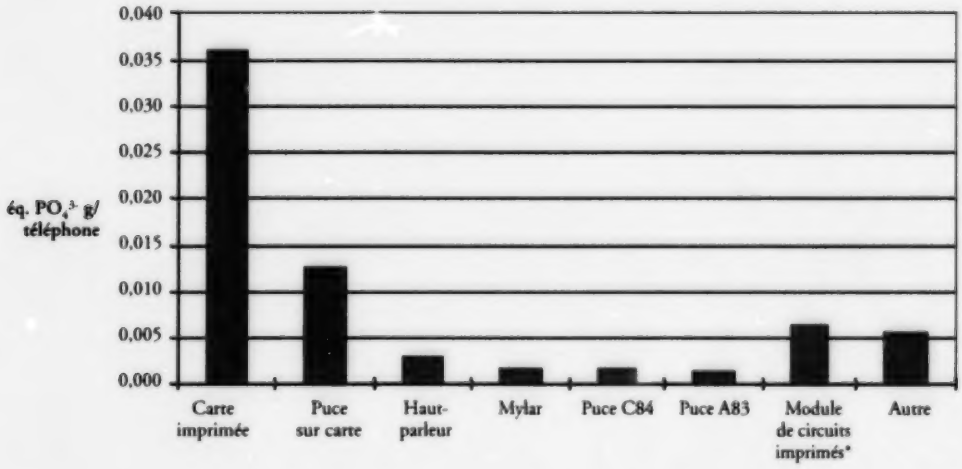


* Biens non durables, électricité de l'usine de montage

L'eutrophisation est causée principalement par la production de papier pour l'emballage et les étiquettes (figure IV.2). Des effluents à forte DCO sont également déversés pendant la production des plastiques ABS et sont la cause principale d'eutrophisation liée au corps et au combiné du téléphone. La production de plastiques de téréphtalate de polybutylène pour les cordons dégage des effluents azoteux responsables de l'eutrophisation.

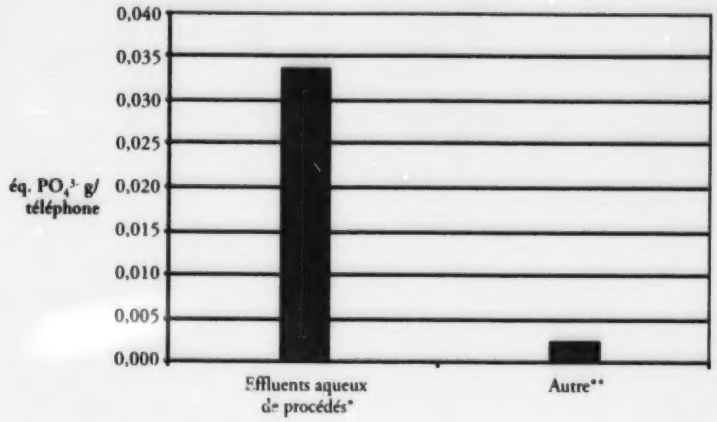
Les effluents aqueux produits par les opérations de fabrication de la carte imprimée sont le principal agent d'eutrophisation liée à la production du Set Comm (figures IV.3 et IV.4). La DCO a été modélisée à partir de la carte imprimée et, pour cette raison, devient une importante participante à cet effet.

Figure IV.3 Effets d'eutrophisation liés au Set Comm d'un téléphone M7310



* À l'exclusion des puces C84 et A83 ainsi que de la carte imprimée

Figure IV.4 Effets d'eutrophisation liés à la carte imprimée du Set Comm d'un téléphone M7310



* Composés ammoniacaux, etc.

** Matières, électricité, etc.